

**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ НЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ
ОТОБРАЖЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ ОБСТАНОВКИ
В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

Тихомиров В.А.* , Бреслер И.Б. , Семенов С.А.****

*Тверской филиал Балтийского ГТГУ «Военмех»

**ФГУП «НИИИТ»

Поступила в редакцию 30.05.2007, после переработки 8.06.2007.

Предложены принципы построения нечеткой модели описания процесса отображения воздушной обстановки в информационно-телекоммуникационных системах реального масштаба времени.

Fuzzy model construction principles of description of air situation mapping process in real-time informational telecommunication systems are considered.

Ключевые слова: неопределенность, нечеткое подмножество.

Keywords: uncertainty, fuzzy subset.

Исследование свойств информационно-телекоммуникационных систем и их элементов предполагает описание процессов, происходящих при их функционировании. Одним из достаточно обширных и наиболее интересных для исследования классов информационно-телекоммуникационных систем являются системы осуществляющие добывание, хранение, обработку, отображение и обмен информацией об обстановке в воздухе или радиолокационные системы.

Теоретическое осмысление процессов, происходящих в подобных системах, осуществляется в рамках теории радиолокации и теории обработки радиолокационной информации.

Оформление теории обработки радиолокационной информации как вполне самостоятельной дисциплины произошло под влиянием развития радиолокационной системотехники, научной базой которой является теория больших (сложных) информационных систем, функционирующих в воздушно-космической сфере [1,2]. При этом, в ходе осмысления и обобщения таких категорий теории обработки, как обнаружение, оценка параметров воздушных объектов, обработка данных сформировалась новая, системная категория «отображение», с помощью которой можно характеризовать как процесс, так и результат функционирования больших и сложных радиолокационных систем [2].

Факторами, определяющими в существенной мере функционирование подобных информационных систем, являются высокая динамика и неопределенность воздушной обстановки, жесткие временные ограничения и требования к качеству информации.

Следует особо отметить, что отображение обстановки неразрывно связано с таким фундаментальным свойством как неопределенность. Особенно оно проявляется в радиолокационных системах, обладающих ограниченными информационными возможностями и осуществляющих отображение обстановки в реальном масштабе времени в сложных условиях обстановки.

Категория «неопределенность» как одна из фундаментальных категорий теории информации и теории принятия решений в свете последних научных воззрений несет онтологическую нагрузку, т.е. отражает некоторое реальное свойство объекта, не зависящее от сознания человека [3].

Исследования РЛ систем с их учетом потребовали соответствующего всестороннего рассмотрения такой фундаментальной категории как неопределенность, развития теории конфликтно устойчивых радиоэлектронных систем, приложений к теории обработки теории принятия решений, теории моделирования, теории эффективности [1, 2, 4, 5]. В исследованиях стал использоваться не только аппарат теории вероятности и математической статистики [6, 7], но и аппарат теории множеств [2].

В общем случае проявление неопределенности, с одной стороны, обусловлено недостаточным качеством функционирования системы (возникновением в ней шумов и других мешающих факторов различного рода) и несоответствием имеющегося знания о реальном явлении с другой, что приводит к принципиальной невозможности получения адекватного отображения изучаемого явления.

В части информационно-телекоммуникационных систем основными причинами, обуславливающими проявление неопределенности являются: во-первых, генерирование общего числа объектов отображения и элементов систем; во-вторых, недостаточная полнота, а также искажения информации или особенности ее представления, обусловленные внутренними факторами системы; в-третьих, разнообразие условий применения систем и неоднозначность условий, в которых проявляются заложенные в данную систему свойства [3, 6].

Отображение этих причин на радиолокационные системы объясняет проявление неопределенности, обусловленной невозможностью гарантированного обнаружения, сколь угодно точного измерения параметров реальных воздушных объектов, их полного разрешения, полного и четкого описания обстановки, недостаточными возможностями или особенностями модели и языка отображения, не позволяющих отразить все значимые свойства обстановки.

Очевидно, что именно фактор неопределенности является одним из основных факторов, который следует учитывать при формальном описании процесса отображения обстановки, а подход к его учету существенно влияет на выбор способа описания процесса отображения и аппарата его формального описания. В связи с усложнением обстановки и соответствующим ростом количества поступающей в систему информации особенно важно учитывать проявление неопределенности на граничных условиях их функционирования, то есть в условиях, когда количественные и качественные характеристики обстановки не соответствуют возможностям систем по ее отображению.

Учет этого фактора неразрывно связан со спецификой описываемой системы.

Специфика построения радиолокационных систем реального масштаба времени их элементов, имеющих различное функциональное назначение, и реализованных в них процедур отображения обстановки при описании их функционирования

обуславливают двойкий подход к учету, возникающей при отображении неопределенности.

По назначению все элементы подобных информационных разведывательных систем можно условно разделить на измерительные и информационно-телекоммуникационные. К измерительным элементам в большей степени относятся источники информации (например, в РЛ системе - РЛС и другие, в том числе нетрадиционные средства), которые осуществляют обнаружение, оценку координат и характеристик разведываемых объектов. К информационно-телекоммуникационным относятся КСА и телекоммуникации, которые осуществляют сбор, обработку (преобразование) и выдачу (представление) трансляцию (передачу) информации потребителям.

В общем случае информационно-телекоммуникационные системы, включающие как программно-аппаратную, так и эргатическую компоненты, в процессе отображения обстановки используют средства в максимальной степени приближенные к естественному человеческому языку общения. В системах реального масштаба времени в силу жестких временных ограничений реализуются специфические средства и способы описания, преобразования и представления информации. Их можно определить как средства и способы специального технического «языка» или как средства и способы «технической лингвистики». К средствам и способам такого «языка» можно отнести системы цифровых кодов, бинарную логику, процедуры обработки, преобразования и представления информации, соответствующий алфавит символов и т. п., описывающие в системе обработки внешние воздействия.

Кроме того, даже в измерительных средствах (особенно в современных РЛС), не говоря уже о КСА, процедуры обработки (в том числе только обнаружение и оценка координат объектов) представляют собой совокупность далеко нетривиальных операций, имеющих достаточно развитую и гибкую логику, основанную, в том числе и на эмпирических данных и опыте эксперта разработчика. Этапы обработки, реализованные в КСА иерархической РЛ системы и предполагающие временное и пространственное объединение полученных РЛС измерений, тем более представляют собой совокупность логических процедур, во многом основанных на эвристических соображениях разработчиков алгоритмов.

В граничных условиях функционирования в разведывательных системах реального масштаба времени, как правило, осуществляется переход к отображению обстановки в виде укрупненных, сгруппированных или агрегированных объектов. Такое описание базируется на учете используемой противником групповой тактики, основой которой является общность задач решаемых объектами, составляющими группы. В этом случае практически невозможно строго установить принадлежность одиночного воздушного объекта группе или как отмечено в [3] четкую границу (принадлежность элемента) структурированной системы (тактической группы или ее боевого порядка) в связи с тем, что невозможно непосредственно определить эти задачи. Принятие решения о наличии группы объектов и принадлежности или непринадлежности одиночного объекта тактической группе осуществляется на основе предположений «уникального эксперта» путем сравнения косвенных признаков, в какой-то степени характеризующих решаемые задачи и их общность, с критериями, сформированными разработчиками путем чисто эвристических соображений, без учета соответствующей статистики в силу невоз-

возможности ее получения.

Таким образом, процесс отображения в радиолокационной системе реального масштаба времени носит как физический, так и лингвистический характер.

Физический характер процесса отображения связан со случайными, вероятностными процессами обнаружения, измерения, оценки характеристик обнаруженных объектов, в большей степени характерными для измерительных элементов (например, РЛС в РЛ системе) и, в меньшей - для КСА. Учет возникающей при этом неопределенности достаточно хорошо осуществляется при описании процесса функционирования с использованием математического аппарата теории вероятности и математической статистики, например, в рамках теории формирования и обработки радиолокационных сигналов и теории цифровой обработки радиолокационной информации [4, 6, 9].

Лингвистический характер процесса отображения связан со средствами, способами и процессами описания, преобразования и представления информации в информационных разведывательных системах реального масштаба времени, и в большей степени характерен для КСА и телекоммуникационных средств.

Очевидно, что в иерархической, сложной радиолокационной системе реального масштаба времени, особенно в граничных условиях функционирования лингвистический характер процесса отображения будет доминирующим.

Такое положение вещей приводит к тому, что с одной стороны при описании функционирования неопределенность, ее количественное выражение можно вполне четко интерпретировать на основе вероятностно статистического подхода, а с другой стороны существует проблема учета неопределенности, ее количественного выражения, при интерпретации обусловленной доминированием «лингвистического характера» процесса отображения в системе.

В условиях доминирования «лингвистического характера» процесса отображения, использования нетривиальных логических процедур и во многом эвристических соображений при принятии решений о группах и их составляющих формализация процесса отображения, опирающаяся только на аппарат математической статистики и теории вероятности, является несколько односторонней, особенно в условиях массивов ударов и плотных боевых порядков.

В связи с этим решение проблемы учета при описании процесса отображения в системе и даже диалектического «снятия» неопределенности [3] предлагается осуществлять с использованием аппарата теории нечетких множеств [7, 10].

Разумеется, что теория нечетких множеств не призвана конкурировать с теорией вероятности и статистическими методами, она лишь заполняет пробел в области структурированной неопределенности там, где нельзя корректно применять статистические и вероятностные оценки. Применение теории нечетких множеств обусловлено отсутствием возможности установления четких границ (принадлежность элемента) структурированной системы, однозначного ответа на вопрос, связанный с определением доли влияния (границы) того или иного признака в формировании оценочной функции. При этом ситуация возможной, но не выявленной неадекватности отображения оригиналу, что характерно для радиолокационных систем реального масштаба времени в целом, также свидетельствует в пользу применения аппарата теории нечетких множеств [3, 7, 10].

Для подтверждения высказанных соображений уместно привести соответствующее общее формальное описание процесса отображения обстановки в разведывательной системе.

вательной информационной системе реального масштаба времени.

Пусть в зоне ответственности радиолокационной системы находится X — множество воздушных объектов, решающих общую задачу Z . Общую задачу можно декомпозировать на совокупность частных задач, каждая из которых z_i решается группой объектов, или одиночным объектом.

$$Z = \bigcup_I z_i, \quad i = [1, I].$$

Множество объектов $X = \{x_k\}, x_k \in X$ распределяется по группам в соответствии с поставленными задачами, определенным нарядом групп и порядком действий в пространстве

$$x \in X_k, \quad X_k \subseteq X, k = [1, K], \quad X \Leftrightarrow Z, \quad X_{ki} \Leftrightarrow z_i, \quad z_i \in Z.$$

При выполнении задач множество объектов подвергается воздействию совокупности факторов Q (предсказуемых и непредсказуемых), изменяющих исходное их распределение

$$X \times Q = X_Q, \quad X_i \times q_i = X_Q, \quad X_Q \subseteq X, \quad q = [1, Q].$$

Измерительные средства системы осуществляет обнаружение, определение координат объектов — то есть получают их отображение

$$\varphi : X_Q \rightarrow X_{R1},$$

где X_{R1} — подмножество отображенных объектов, являющееся результатом обработки на измерительном элементе.

Тогда

$$X_{R1} \rightarrow Z_{R1} \subset Z,$$

то есть

$$\left\{ \bigcup_{x_{iR1}} \right\} \rightarrow \bigcup_i z_{iR1}.$$

Далее в иерархической информационной радиолокационной системе осуществляется обработка информации от источников, то есть преобразование или временное R_2 и пространственное R_3 объединение

$$X_{R1} \xrightarrow{R2} X_{R2} \xrightarrow{R3} X_{R3},$$

где R_2, R_3 — операторы, характеризующие соответственно процедуры временного и пространственного объединения.

В результате формируется множество

$$X_{R3} = \bigcup_S X_{R2s} = \bigcup_S \bigcup_{N1} X_{R1},$$

где S, N_1 — множество источников, выдающих информацию на элемент, осуществляющий временной и пространственное объединение и множество траекторий, объектов соответственно.

По этому множеству на различных уровнях системы осуществляется оценка обстановки, определение решаемых воздушными объектами задач $\bigcup_i z_{iR3} \subset Z_{R3}$, вскрытие замысла и т.п. Причем подготовка исходных данных для этой оценки базируется на анализе кинематических параметров и признаков объектов, косвенно характеризующих решаемые ими задачи, а основным требованием является требование обеспечения адекватности, то есть при этом необходимо чтобы

$$Z_{R3} \Leftrightarrow Z.$$

В связи с тем что $X_{R3} = \bigcup_{N_1} x_{R3}(\nu, p, t)$, где ν, p, t – кинематические характеристики, признаки объекта, оцененные на момент времени t , очевидно, что определить степень их влияния на решаемые задачи можно только интуитивно на основе опыта. При этом возникает ситуация возможной, но не поддающейся выявлению неадекватности отображения оригиналу, что очередной раз свидетельствует не в пользу применения вероятностных и статистических методов.

Попытаемся привести обобщенную характеристику возникающей неопределенности с использованием аппарата теории нечетких множеств.

Пусть X – множество, характеризующее разведываемую обстановку, а $\varphi : X \rightarrow X_R$ – заданное отображение, получаемое при воздействии оператора отображения R системы, и пусть X_k некоторое нечеткое подмножество множества X с функцией принадлежности $\mu(x)$. В соответствии с принципом обобщения [7, 10] образ X_k при отображении φ определяется как нечеткое подмножество множества X_{kR} , представляющее собой совокупность пар вида

$$X_{kR} = \{(x_R, \mu_k(x_R))\},$$

$$(x_R, \mu_k(x_R)) = (\varphi(x), \mu(x)), \quad x \in X,$$

где $\mu_k : X_{kR} \rightarrow [0, 1]$ – функция принадлежности образа.

Функцию принадлежности μ_k можно записать в виде

$$\mu_k(x_R) = \sup_{x \in \varphi^{-1}(x_R)} \mu(x), \quad x_R \in X_{kR},$$

где множество $\varphi^{-1}(x_R)$ для любого фиксированного $x_R \in X_R$ имеет вид

$$\varphi^{-1}(x_R) = \{x \in X / \varphi(x) = x_R\},$$

то есть представляет собой множество всех элементов $x \in X$, образом каждого из которых при отображении φ является элемент x_R .

В случае нечеткого отображения

$$\varphi : X \xrightarrow{H} X_R.$$

То есть в ходе отображения информации в системе в силу доминирования лингвистического характера процесса возникает неадекватность, неопределенность, нечеткость, размытость результата отображения, приводящая к дублированию, размножению данных и появлению ложной информации.

Обозначим $\mu^S(x_R)$ функцию, характеризующую обобщенную неопределенность отображения объекта в системе, имеющую смысл степени соответствия отображения объекта самому объекту и характеризующую адекватность отображения объекта системой. Количественно $\mu^S(x_R)$ характеризует степень принадлежности элемента x_R множества отображенных объектов X_R множеству объектов, реально находящихся в зоне ответственности системы. Неопределенность отображения, как величина обратная степени соответствия зависит от поведения внешней среды - тактических приемов, применяемых противником для нейтрализации радиолокационной системы, и от наличия в системе информационных ресурсов, т.е. процедур (алгоритмов), обеспечивающих требуемое отображение и ресурсов, необходимых для их реализации и функционирования. В общем смысле функция, характеризующая неопределенность отображения объекта системой взаимно однозначно соответствует функции, характеризующей степень неопределенности реализации отображения объекта системой посредством имеющихся в системе операторов отображения. Для s -го элемента системы

$$\mu^s(x_R) \Leftrightarrow \mu^s(R^s),$$

где $\mu^s(R^s)$ — функция, количественно характеризующая возможность оператора отображения, на s -ом элементе системы по однозначному отображению объекта.

Определим область значений функции неопределенности в пределах от 0 до 1. Объект однозначно отображается элементом системы при значении $\mu^s(R^s) \rightarrow 1$ и, естественно тогда $\mu^s(x_R) \rightarrow 1$. Это означает что в системе (на ее элементе) реализованы соответствующие операторы, обеспечивающие адекватное отображение обстановки (здесь конкретного объекта). Неопределенность реализации на элементах системы новых операторов отображения $\mu(A) = 1 - \mu^s(A^s)$, и в данном случае она стремится к 0. Т. е. в принципе в них нет необходимости, так как наличный оператор обеспечивает целевое функционирование системы. Если же $\mu^s(x_R) \rightarrow 0$, т. е. объект в системе отображается неадекватно, или совсем не отображается, тогда $\mu^s(A^s) \rightarrow 0$ и $\mu(A) = 1 - \mu^s(A^s) = 1$. В этой ситуации необходима реализация на элементах системы новых операторов (процедур, дополнительных ресурсов) обеспечивающих ее целевое функционирование, т. е. адекватное отображение объекта в системе.

Таким образом, предложенный подход позволяет описывать процесс отображения обстановки в информационной разведывательной системе с учетом, возникающей при этом неопределенности и на этой основе проводить определенную оценку ее функционирования и определять направления совершенствования.

Список литературы

- [1] Д.С. Конторов, Ю.С. Голубев-Новожилов. Введение в радиолокационную системотехнику. - М.: Сов. Радио.,1971.
- [2] Дружинин В.В., Конторов Д.С. Конфликтная радиолокация. - М.: Радио и связь, 1982.
- [3] Г.И. Андреев, В.В. Барвиненко, С.Н. Остапенко, В.А. Тихомиров, Ю.Б. Торгованов. Принципы построения формализованных методов теории принятия решений - г. Тверь: ВУ ПВО, 2001.

-
- [4] Богданчук В. З. Оценивание и классификация параметров объектов в условиях неопределенности. – Рига, Зинанте, 1987.
 - [5] Клочков Л.Н. Тактико технико-экономическая оценка радиолокационной системы. Тверь.: ВА ВКО, 2006.
 - [6] Кузьмин С.З. Основы теории цифровой обработки РЛИ. - М.: Сов. радио 1974.
 - [7] Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. Под редакцией Д.А. Поспелова. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1986.
 - [8] Мушков А.Ю., Тихомиров В.А., Тихомиров В.А. Модели и методы стратегического управления сложными социально-экономическими и технологическими системами: Монография. - Тверь: ВУ ПВО, 2003.
 - [9] Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации. - М.: Радио и связь, 1984.
 - [10] Орловский С.А. Проблема принятия решений при нечеткой исходной информации. - М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1981.