

© Кукушкин С.С., Потупкин А.Ю., Антипов В.А.
Kukushkin S.S., Potupkin A.J, Antipov V.A.

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ УЛЬТРАОПЕРАТОРА КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

THE METOD OF PROCESSING INFORMATION ULTRA OPERATOR'S SYNTHESIS USING INFORMATION RECEIVED FROM VARIOUS MEANS OF REMOTE MONITORING IS CONSIDERED

Аннотация. Разработан метод синтеза ультраоператора комплексной обработки разнородной информации, позволяющий обеспечить корректность обратной задачи анализа. Разработанный метод предоставляет возможность регулярного синтеза технологий оценивания результатов мониторинга в сложных условиях, связанных с необходимостью обработки семантической информации в условиях неопределённости. Приведен пример реализации метода в случае проведения поисково-спасательных работ в сложных природно-климатических условиях, проводимых с помощью беспилотных летательных аппаратов.

Annotation. On its basis the method of diverse information complex processing ultra operator synthesis allowing providing the correctness of analysis return task is developed. The developed method gives an opportunity of regular synthesis of monitoring results estimation technologies in complex conditions, connected with necessity of semantic information processing in conditions of uncertainty. The example of method's realization in case of search and rescue operations in complex climate conditions with nonpilot airplanes application is given.

Ключевые слова. Дистанционный мониторинг, комплексная обработка информации, обратная задача, теория ультраоператоров.

Key words. Words: remote monitoring, complex processing of the information, ultra operators theory.

Введение

В работе [6] разработаны теоретические основы синтеза ультраоператора комплексной обработки информации дистанционного мониторинга.

Все новые математические теории нуждаются в их прикладном применении, иначе подрывается их значимость. Но чаще всего новые математические методы не представляется возможным реализовать на практике без конструктивного подхода [1,6,7], основу которого в интерпретации, предлагаемой в работах [6,7] составляют: объединение в единую взаимосвязанную систему различных теорий и теоретических положений, а также различные замещающие математические конструкции (ЗМК). Математическая теория ультраоператоров [2,4] также должна иметь конструктивную направленность, если за-

даться целью ее прикладного применения. На решение этой задачи направлена предлагаемая статья.

подавляющее большинство задач, которые решает телеметрия и системы мониторинга технического состояния сложных летательных аппаратов, особенно в условиях аварийных ситуаций, это задачи некорректные. Некорректность проявляется в том, что при небольших возмущениях они могут давать очень большие ошибки.

С некорректными задачами мы сталкиваемся почти всегда, когда, например, решаем обратную задачу механики, заключающуюся в том, чтобы не по силам определять движение ракеты, а, наоборот, по характеру ее движения, который устанавливаем по данным телеметрии. Таким образом, мы выуживаем, а какие же действовали силы и моменты, которые нарушили правильный,

Кукушкин Сергей Сергеевич – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник 4 ЦНИИ Министерства обороны РФ, тел. 515-19-82,

Потупкин Александр Юрьевич – доктор технических наук, доцент, начальник кафедры ВА РВСН имени Петра Великого, тел. 698-44-18;

Антипов Владимир Александрович – старший научный сотрудник ВА РВСН имени Петра Великого, тел. 698-44-18;

Kukushkin S.S. Sergej Sergeevich – Dr. Sci. Tech., the professor conducting the scientific employee, 4 CNII the Ministries of Defense, tel. 515-19-82,

Potupkin Alexander Jurievich – Dr. Sci. Tech., the senior lecturer, the chief of chair VA RVSN of a name Peter the Great, tel. мел. 698-44-18;

Antipov Vladimir Alexandrovich – the senior scientist employee of chair VA RVSN of a name Peter the Great, tel. мел. 698-44-18.

плавный ход движения ракеты. Классический подход, которым занимались многие выдающиеся ученые Ж. Адамар и А.Н. Тихонов, требуемой устойчивости в решении не дает [1-5]. Поэтому актуальной становится задача поиска нетрадиционных вариантов повышения устойчивости получаемых решений. Один из таких подходов применительно к задачам информационно-измерительного обеспечения испытаний РКТ и ШЭ КА рассмотрен в работах [6, 7]. Его основу составляет нетрадиционное представление данных образами-остатками [6,7].

Основная особенность задачи мониторинга также проявляется в ее некорректности. В этом случае необходима разработка метода регуляризации задачи анализа с учетом специфики информации, получаемой от разнородных источников. В качестве математического аппарата выбрана математическая информатика и её раздел – теория ультраоператоров [2,4], позволяющая осуществить математическую обработку семантической информации. Основу теории ультраоператоров составляет насыщение имеющейся информации дополнительными сведениями [2,4].

Рассмотрим пример прикладного применения теории ультраоператоров с использованием совокупности сведений, приведенных на рис.1.

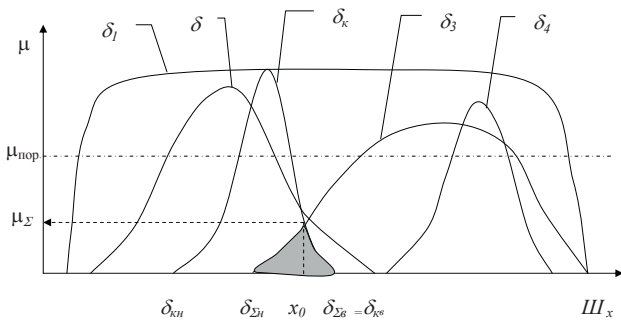


Рис.1. Примеры сведений

В общем случае сведения могут быть различными как по общности, так и по достоверности. Предположим, что о некотором объекте мониторинга известен ряд сведений $\delta_{\kappa}, \delta_{1-p}$ заданных на непрерывной шкале их представления, с достоверностью, выраженной в нечеткой мере в виде функций принадлежности (рис. 1). Пример сведений $\delta_{\kappa}, \delta_{1-p}$ заданных на непрерывной шкале их представления (шкале телеизмерений), составляют телеметрируемые параметры (ТМП).

При этом базовыми являются сведения δ_p , накладывающее ограничения на возможные результаты решения (например, физические и т.д.), и сведения δ_{κ} , полученное на основании процедуры контроля.

Необходимость в привлечении дополнительных сведений для формирования насыщенного носителя ин-

формации оказывается целесообразно только тогда, когда они могут быть сравнимы с имеющимися (например, хранящимися в базе данных). Это означает, что они относятся к одному и тому же объекту $\delta \subset X$. При этом сравнение может вестись как по общности, так и по достоверности.

Таким образом, для формирования насыщенного носителя информации требуется осуществить выбор дополнительных сведений и привести их к единой шкале сравнения.

Предлагаемый метод формирования насыщенного носителя информации заключается в следующем порядке логических операций.

1. Первым шагом является проверка соответствия сведения δ_{κ} ограничениям, установленным сведением δ_1 . Результат конъюнкции сведений $\delta_{\kappa-1} = \delta_{\kappa} \cap \delta_1, \delta_{\kappa-1} \neq \emptyset$ является менее общим, чем первоначальное сведение, т.е. $\delta_1 \subset \delta_{\kappa-1}$. Следовательно, сведение о результатах контроля δ_{κ} не противоречит установленным ограничениям и в дальнейшем выступает в качестве базового.

2. Сведение δ_2 является более общим, чем сведение δ_{κ} . Но результат конъюнкции сведений $\delta_{\kappa-2} = \delta_{\kappa} \cap \delta_2$ является менее общим, чем первоначальное сведение, т.е. $\delta_{\kappa-2} \subset \delta_{\kappa}$. Следовательно, сведение δ_2 принимает участие в формировании насыщенного носителя информации, и в дальнейшем в качестве базового для сравнения рассматривается уже сведение $\delta_{\kappa-2}$.

3. Сведение δ_3 является несравнимым по общности как со сведением δ_{κ} , так и со сведением $\delta_{\kappa-2}$.

4. Однако результат конъюнкции сведений $\delta_{\kappa-2/3} = \delta_{\kappa-2} \cap \delta_3$ является менее общим, чем первоначальное сведение, т.е. $\delta_{\kappa-2/3} \subset \delta_{\kappa-2}$. Поэтому сведение δ_3 принимает участие в формировании терминального носителя информации, и в дальнейшем базовым является сведение $\delta_{\kappa-2/3}$.

5. Сведение δ_4 является несравнимым по общности как со сведением δ_{κ} , так и со сведением $\delta_{\kappa-2/3}$. Результат конъюнкции сведений представляет собой пустое множество $\delta_{\kappa-2/3} \cap \delta_4 = \emptyset$. Следовательно, сведение δ_4 не принимает участие в формировании терминального носителя информации, и результирующим δ_{Σ} является сведение $\delta_{\kappa-2/3}$, полученное как результат конъюнкции (пересечения) сведений $\delta_{\kappa}, \delta_2, \delta_3$ и $\overline{\delta_4}$.

$$\delta_{\Sigma} = (\delta_1 \cap \delta_{\kappa} \cap \delta_2 \cap \delta_3) \cap \overline{\delta_4}, \delta_{\Sigma} \subset \delta_{\kappa}$$

или, с учетом решетчатой достоверностей, в терминах функций принадлежности

$$\mu_{\Sigma} = (\mu_1 \wedge \mu_{\kappa} \wedge \mu_2 \wedge \mu_3) \wedge (1 - \mu_4).$$

В случае «мягкого» варианта для сведения δ_4 используется операция «или» дизъюнкции (объединения) сведений и результирующим является сведение

$$\delta_\Sigma = (\delta_1 \cap \delta_k \cap \delta_2 \cap \delta_3) \cup \delta_4, \delta_\Sigma \supset \delta_k,$$

или

$$\mu_\Sigma = (\mu_1 \wedge \mu_k \wedge \mu_2 \wedge \mu_3) \vee \mu_4,$$

где $\bar{}, \cup, \cap$ – символы соответственно операций отрицания, объединения и пересечения;

\wedge, \vee – символы соответственно операций \min, \max .

Окончательное решение может быть найдено одним из известных методов приведения неопределенности к однозначному решению, например, нахождением абсциссы центра тяжести или центра симметрии результирующей функции принадлежности, отображаемой на рис. 1 в виде заштрихованной фигуры [3]. Кроме того, пользователь может установить требования по достоверности привлекаемых сведений и тем самым предварительно отсеять недостоверные сведения, например, при $\mu \leq \mu_{\text{пор}}$. Общая схема решения задачи анализа с использованием регуляризатора приведена на рис.2.

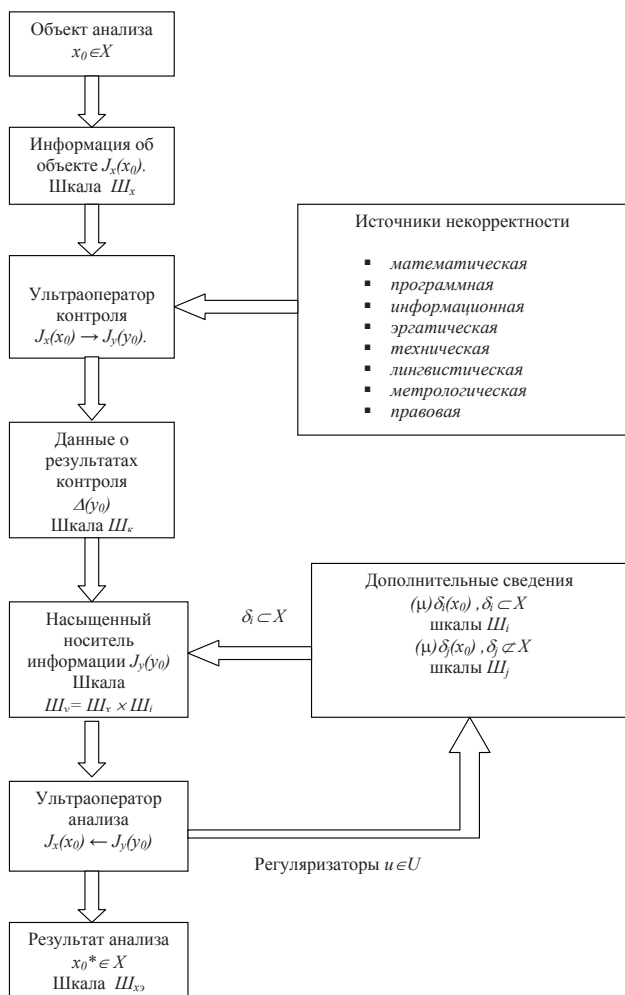


Рис. 2. Общая схема решения задачи анализа

Исходя из рассмотренного выше способа, можно сделать вывод, что ультраоператор анализа будет представлять собой экспертную систему, входом которой бу-

дут являться различные сведения об объекте анализа, а выходом – заключение о результатах анализа. Экспертная система будет характеризоваться набором правил следующего вида [3]: *ЕСЛИ результаты контроля = δ_k и дополнительные сведения = δ_p , где $i = 1, N$, ТО объект характеризуется состоянием $x_0^* \in X$* . Отличие экспертной системы, синтезированной в качестве ультраоператора анализа, от обычной экспертной системы заключается в уменьшении числа продукций *ЕСЛИ ...ТО...* за счет систематического использования понятия информации об объекте, включающего как совокупность сведений об объекте, так и их простейших логических следствий. Поэтому отображения в продукциях требуют лишь образующие решеток (шкалы понятий), остальные элементы решеток восстанавливаются путем логических операций конъюнкции, дизъюнкции и отрицания. Отметим также, что ввиду выбора нечеткой меры в качестве меры достоверности сведений данные об объекте могут быть представлены соответствующими нечеткими множествами. Это позволяет использовать широко известные методы обработки нечетких данных, в том числе и реализованных в ряде программных продуктов.

Применительно к задачам дистанционного мониторинга с использованием различной датчиковой аппаратуры предложенный вариант решения задачи будет выглядеть следующим образом. Пусть на дискретной шкале Sh_x заданы модели объектов мониторинга $X_m = \{x\}$, описываемые в пространстве контролируемых признаков моделей.

Известны шкалы Sh_{y_i} признаков моделей $\{y\}$, оценки которых происходят на основе известных алгоритмов обработки значений непосредственно измеряемых параметров $\{g\}$, получаемых с помощью разнородных датчиков информации – видимого и ИК-диапазона, радиолокационных, радиотехнических и т.д.

При этом сами измеряемые параметры также заданы на шкалах: $Sh_{g^p}, Sh_{g^{in}}, Sh_{g^{op}}, Sh_{g^{pm}}, Sh_{g^{op}}$. Тогда процесс мониторинга может быть представлен следующей схемой (рис.3).

Сведения, порождаемые на шкалах нижнего уровня, отображаются в шкалы верхнего уровня. Ввиду принципиальной некорректности решения возникающая неоднозначность устраняется путем привлечения дополнительных сведений, конкретизирующих решение. Дополнительные сведения, например, полученные в радиотехническом диапазоне при базовом оптическом, или полученные от датчиков, имеющих худшую разрешающую способность, выступают в качестве регуляризаторов, а порядок их использования определяется параметрами регуляризации [4,7]. При этом операторы

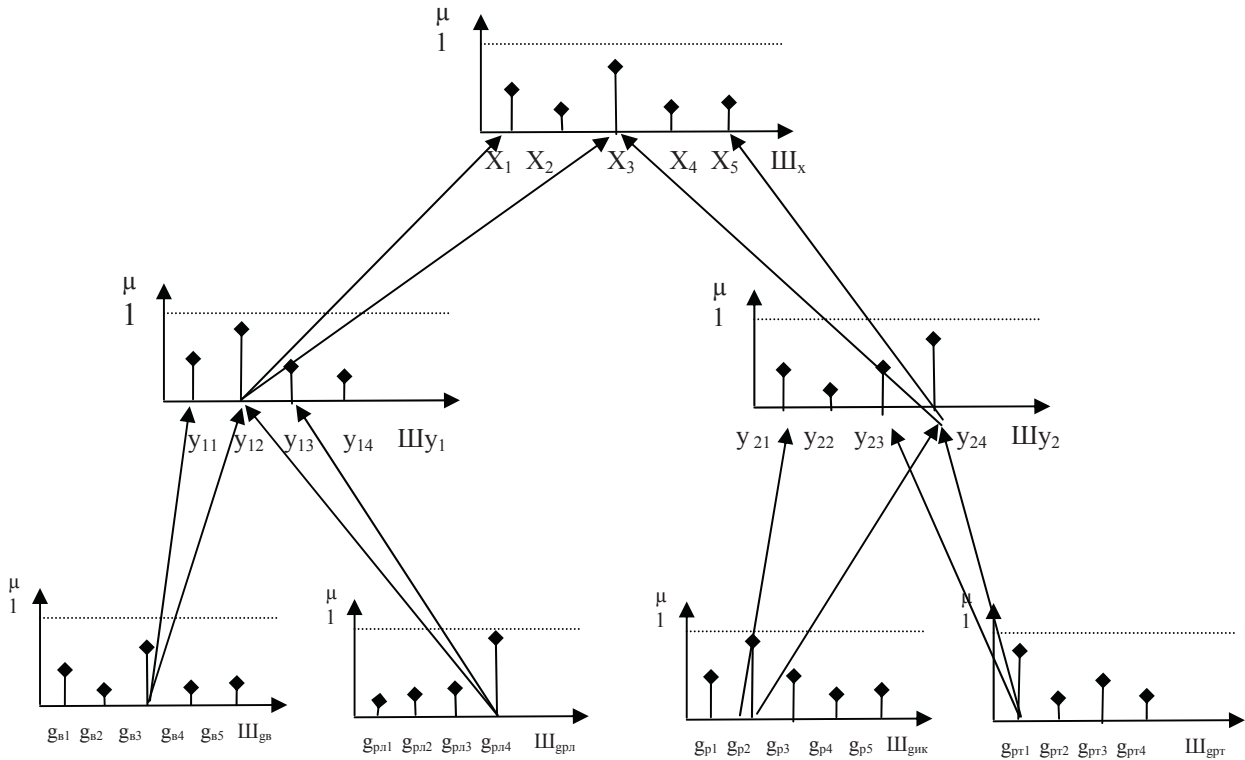


Рис.3. Схема процесса мониторинга с устранением неоднозначности

отображения являются традиционными, основанными на теории распознавания образов (задачи классификации, корреляционно-экстремальная обработка, нейронные сети и т.д.). Их недостатки, связанные с низкой помехоустойчивостью, компенсируются при комплексном использовании, предполагающем построение насыщенного носителя информации.

Рассмотрим порядок подсчёта количества информации на каждом из уровней приведенной иерархической структуры. В соответствии с положениями математической информатики необходимо провести подсчет количества информации, приносимой каждым сведением, а затем сгруппировать информацию относительно каждого из элементов шкалы.

Известно, что количество информации J_k полученной по k -му элементу шкалы может быть рассчитано следующим образом [2,4]:

$$J_k = n \cdot Napr - \sum_{i=1}^n Haps_i, \tag{1}$$

где $Napr$, $Haps_i$ – априорная и апостериорные неопределённости, n – число сведений, относящихся к k -му элементу шкалы.

Анализ приведенного соотношения показывает, что количество информации об элементе шкалы определяется в первую очередь числом относящихся к нему сведений, и во вторую – распределением до-

стоверностей. Действительно, для всех $n \geq 0$ справедливо $n \cdot Napr \geq \sum_{i=1}^n Haps_i$. Решение о выборе элемента принимается по следующему правилу: $k^* \neq arg (J_k \geq J_{nор})$.

Пример реализации метода

Рассмотрим синтез ультраоператора анализа информации дистанционного мониторинга, проводимого с помощью авиационных носителей. Предположим, что стоит задача проведения поисково-спасательных работ в сложных природно-климатических условиях. В силу этого принятие решения о типе объекта мониторинга производится в условиях существенной неопределенности, вызванной в первую очередь недостатком измерительной информации. Рассмотрим вариант применения приведенного метода анализа в данном случае.

Пусть объектом мониторинга является группа людей, характеризующаяся признаками, часть из которых воспринимается аппаратурой средства мониторинга. Средство мониторинга – группа беспилотных летательных аппаратов, оснащённый радиолокатором и оптико-электронной системой видимого и инфракрасного диапазонов, характеризующихся различным разрешением на местности и устойчивостью к внешним условиям. Каждый из аппаратов работает в определённом районе поиска и передаёт информацию в центр сбора и обработки (рис. 4).

Предположим, что на борту каждого аппарата установлена система автоматического распознавания по

результатам наблюдения, что позволяет сократить число операторов на земле. В случае получения положительного отклика в результате распознавания на борту формируется сигнал вызова и управление процессом обнаружения передаётся оператору. Априори известна модель объекта мониторинга, характеризующаяся следующими признаками: приблизительный количественный и качественный состав группы; ориентировочный район поиска. Известны также особенности фоноцелевой обстановки в заданном районе, погодные условия, состояние аппаратуры дистанционного мониторинга.

Требуется определить тип объекта мониторинга.

Для решения задачи воспользуемся разработанным методическим аппаратом синтеза ультраоператора анализа и осуществим выбор регуляризатора. Для этого в первую очередь проведем формализацию задачи в тер-

минах теории ультрасистем.

Приведем соответствующие образующие решеток для входного ультрамножества X^* Ш_x решетки понятий P_x входа ультрасистемы:

- ∅- пустое множество;
- валуны;
- поваленные деревья;
- люди;
- животные;
-
- все типы;

и выходного комплексного ультрамножества Y^* : P_1 – количественный состав группы; P_2 – геометрические характеристики объекта мониторинга; P_3 – пространственное положение объекта; P_4 – результаты автоматического распознавания;

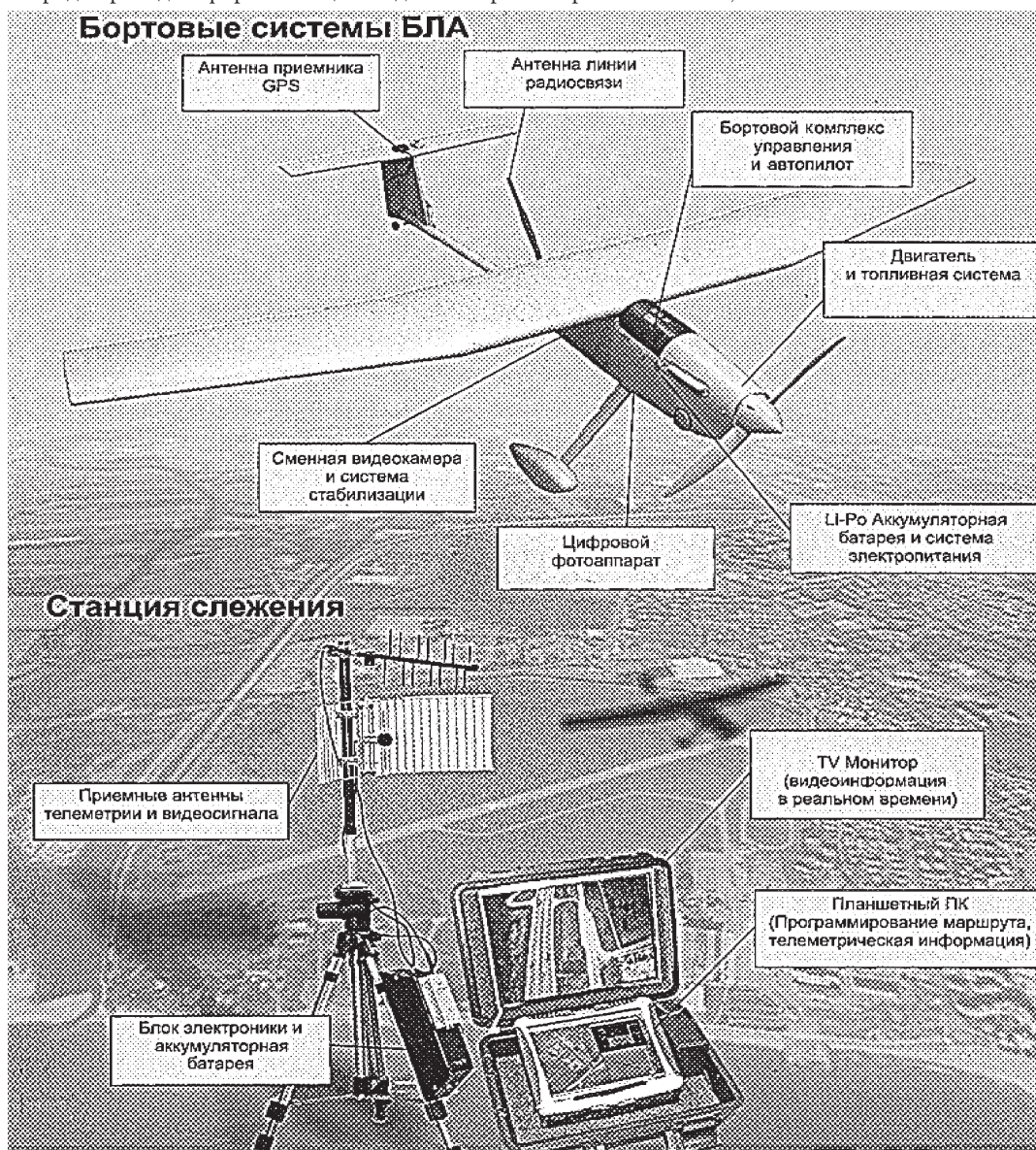


Рис.4. Пример беспилотного ЛА со станцией слежения

решетка количественного состава группы P_1

- ∅ - пустое множество;
- меньше ожидаемого;
- соответствует ожидаемому;
- больше ожидаемого;
-

все варианты;

решетка геометрических характеристик элементов объекта мониторинга P_2

- ∅ - пустое множество;
- существенно меньше габаритов человека;
- меньше габаритов человека;
- соответствует габаритам человека;
- больше габаритов человека;
- существенно больше габаритов человека;
-

все варианты;

решетка пространственного положения объекта P_3

- ∅ - пустое множество;
- существенно отличается от ожидаемого;
- отличается от ожидаемого;
- в ожидаемом районе;
-

все варианты;

решетка результатов автоматического распознавания P_4

- ∅ - пустое множество;
- валуны;
- поваленные деревья;
- люди;
- животные;
-

все типы.

Требуется синтезировать ультраоператор анализа, позволяющий определить тип объекта мониторинга с требуемой информативностью и достоверностью в заданные сроки.

Рассмотрим порядок решения. При этом ограничимся только уровнем признаков модели, для простоты считая, что они уже определены по непосредственно измеряемым параметрам. Предварительный анализ показывает, что все перечисленные сведения имеют отношение к искомому результату и могут быть включены в состав регуляризатора. Пусть по результатам определения количественного состава можно сформировать сведение $(\mu_1)\delta_1(x_0)$: количественный состав группы больше ожидаемого, что по априорной информации соответствует либо валунам, либо группе животных (рис. 5); по результатам определения геометрических характеристик формиру-

ются данные из следующих сведений $(\mu_2)\delta_2(x_0)$: элементы меньше габаритов человека и $(\mu_3)\delta_3(x_0)$: элементы соответствуют габаритам человека, что по априорной информации соответствует либо животным, либо группе животных. Пересечение данных сведений даёт нам уточняющий результат и сокращает область исходной неопределённости. Следовательно, оба сведения включаются в состав регуляризатора. Аналогично проверяются и другие сведения. Проверка достоверности осуществляется путем отсева недостоверных сведений на этапе формирования признаков по критерию $\mu_i \geq \mu_d$.

Решением задачи будет ультраоператор анализа, представляющий собой экспертную систему следующего вида:

ЕСЛИ количественный состав группы больше ожидаемого

И часть элементов меньше или соответствует габаритам человека

И местонахождение группы отличается от ожидаемого

И по результатам автоматического распознавания сделан вывод

«люди» или «животные»

ТО тип объекта – животные.

Проведем анализ полученного результата с точки зрения критерия информативности. Общее количество информации $J_{общ}$ будет суммой информации о данном объекте, приносимых различными сведениями.

Пусть, например, в результате мониторинга получено следующее распределение достоверностей, выраженных в нечеткой мере [3], на шкале объектов мониторинга: {0,3/валуны; 0,1/деревья; 0,7/люди; 0,9/животные}. Тогда можно оценить вероятности соответствующих гипотез и количество информации об объектах мониторинга. Будем учитывать, что в результате опыта в шкале объектов мониторинга получены следующие сведения: $\delta_1=(\text{валуны, животные})$; $\delta_2=(\text{животные, люди})$; $\delta_3=(\text{валуны, деревья})$ и $\delta_4=(\text{люди, животные})$. Вероятностное распределение будет выглядеть следующим образом: {0,15/валуны; 0,05/деревья; 0,35/люди; 0,45/животные}. Тогда, например, количество информации об объекте «Валуны» является суммой информации, приносимых сведениями $\delta_1=(\text{валуны, животные})$ и $\delta_3=(\text{валуны, деревья})$.

Проведем анализ полученного результата с точки зрения критерия информативности. Общее количество информации $J_{общ}$ будет суммой информации о данном объекте, приносимых различными сведениями.

Пусть, например, в результате мониторинга получено следующее распределение достоверностей, выра-

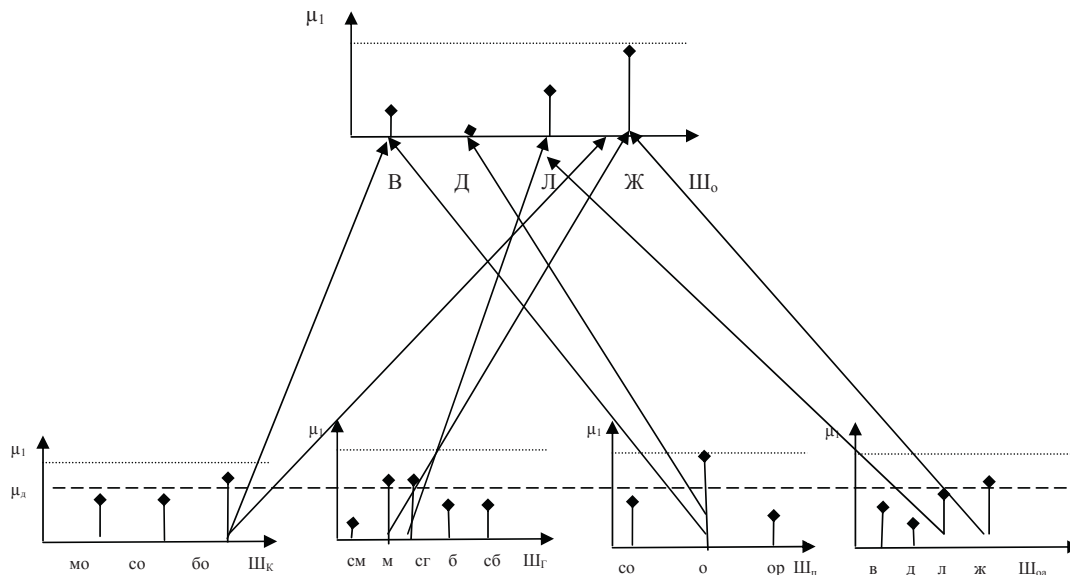


Рис.5 Схема решения задачи мониторинга

женных в нечеткой мере, на шкале объектов мониторинга: {0,3/валуны; 0,1/деревья; 0,7/люди; 0,9/животные}. Тогда, можно оценить вероятности соответствующих гипотез и количество информации об объектах мониторинга. Будем учитывать, что в результате опыта в шкале объектов мониторинга получены следующие сведения: δ_1 =(валуны, животные); δ_2 =(животные, люди); δ_3 =(валуны, деревья) и δ_4 =(люди, животные). Вероятностное распределение будет выглядеть следующим образом: {0,15/валуны; 0,05/деревья; 0,35/люди; 0,45/животные}. Тогда, например, количество информации об объекте «Валуны» является суммой информации, приносимых сведениями δ_1 =(валуны, животные) и δ_3 =(валуны, деревья)

$$\begin{aligned}
 J_{вал} &= J_1 + J_3 = \{H[X(x_0)] - H[\delta_1(x_0)]\} + \{H[X(x_0)] - H[\delta_3(x_0)]\} - \\
 &- 2 \cdot \{P_{в} \cdot \log_2 P_{в} + P_{д} \cdot \log_2 P_{д} + P_{л} \cdot \log_2 P_{л} + P_{ж} \cdot \log_2 P_{ж}\} + \\
 &+ \{P_{в} \cdot \log_2 P_{в} + P_{ж} \cdot \log_2 P_{ж}\} + \{P_{в} \cdot \log_2 P_{в} + P_{д} \cdot \log_2 P_{д}\} = \\
 &= 2 \cdot \{0,15 \log_2 0,15 + 0,05 \log_2 0,05 + \\
 &+ 0,35 \log_2 0,35 + 0,45 \log_2 0,45\} - \\
 &- \{2 \cdot 0,15 \cdot \log_2 0,15 + 0,45 \cdot \log_2 0,45 + 0,05 \cdot \log_2 0,05\} = 1,79 \text{ [бит]}.
 \end{aligned}$$

Литература

1. Математическая энциклопедия (гл. редактор ИМ.Виноградов) в пяти томах, Т.2 – Д-Кoo, М.: «Советская энциклопедия», 1979. – С. 1042 -1046.
2. Чечкин А.В. Математическая информатика. М.: Наука, 1991. -283с.
3. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред.Д.А.Поспелова, М.: Наука, 1986. – 675с.
4. Потюткин А.Ю. Научно – методические основы решения задач анализа состояния объектов ракетно – космической техники в условиях неопределенности. – М.:ВА РВСН, 2003. – 234с.
5. Барсегян АА, Кутриянов М.С., Степаненко В.В., Холод И.И. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining.- СПб: БХВ-Петербург,2004. – 531с.
6. Кукушкин С.С. Теория конечных полей и информатика /Т.1 Методы и алгоритмы, классические и нетрадиционные, основанные на использовании конструктивной теоремы об остатках. М.: МО РФ, 2003. – 284с.
7. Кукушкин С.С., Гладков И.А., Чаплинский В.С. Методы и информационные технологии контроля состояния динамических систем М.: МО РФ, 2008. – 328с.

Материал поступил в редакцию 30. 04. 2009 г.

Используя аналогичную методику подсчета, получим количество информации по объекту «Поваленные деревья» $J_{дер} = 1,46$ [бит], по объекту «Люди» $J_{вал} = 1,25$ [бит], по объекту «Животные» $J_{вал} = 2,0$ [бит].

Пусть априори заданы требования критерия $J_k \geq 2$ [бит], тогда, исходя из правила (1), получим множество результатов решения – {животные}.

Заключение

Продемонстрированы возможности новой технологии мониторинга, в которой объединены в единое целое на основе конструктивного подхода элементы теории ультраоператоров [2,4] и нечетких множеств [3]. Практическая реализация метода возможна в системах поддержки и принятия решений путем разработки программно-математического обеспечения на основе динамического анализа с использованием известных концепций обработки данных [5]: хранилищ данных (Data Warehouse), комплексного многомерного анализа (OLAP) и собственно анализа (Data Mining).