

КОНЦЕПЦИЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ КОНТРОЛИРУЕМЫХ СИТУАЦИЙ НА ОСНОВЕ САМООРГАНИЗАЦИИ РАЗНОРОДНЫХ ПРИЗНАКОВ

А.А. Писарчук

Житомирский военный институт имени С.П. Королева Государственного университета телекоммуникаций Министерства обороны Украины

В статье предложена концепция идентификации, базирующаяся на принципах самоорганизации. В основу концепции положена математическая модель идентификации, обладающая свойствами упорядочивания, образования и эволюции структур: объекты идентификации — апостериорные признаки. Модель базируется на взаимосвязи разнородных признаков (фактов, данных и суждений) априорных и апостериорных данных для каждого объекта идентификации. Предложенная концепция обеспечивает оперативное решение задачи идентификации в условиях значительной априорной неопределенности и большой размерности.

Ключевые слова: идентификация, самоорганизация, аттрактор, неопределенность, большая размерность.

У статті запропонована концепція ідентифікації, яка базується на принципах самоорганізації. В основу концепції покладено математичну модель ідентифікації, яка має властивості впорядкування, утворення та еволюції структур: об'єкти ідентифікації — апостеріорні ознаки. Одержана модель базується на взаємозв'язку різнорідних ознак (фактів, даних і суджень) априорних і апостеріорних даних для кожного об'єкту ідентифікації. Запропонована технологія забезпечує оперативне розв'язання задачі ідентифікації в умовах значної априорної невизначеності та великої розмірності.

Ключові слова: ідентифікація, самоорганізація, аттрактор, невизначеність, велика розмірність.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие научно-технического процесса в сфере информационных технологий последних лет привело к усилению роли сложных автоматизированных систем управления, применяемых во многих отраслях деятельности человека: управление государством в целом; экономика; космонавтика; транспорт; военная сфера и т.д. В результате появилась новая сфера деятельности — кибернетическое пространство, объединяющее в себе совокупность подсистем управления различного назначения, социальную и техническую сферы. Следствием этого явилось единое информационное пространство, наполненное избыточной разнородной информацией со своими правилами взаимодействия, трансформации, развития и деградации.

Рассматривая управление как взаимосвязанную цепочку действий по распознаванию, предсказанию, идентификации, принятию решения и непосредственно управления в условиях избыточности внутренней и внешней информации [1], можно выделить особенности такого процесса. Управление реализуется в условиях значительной динамичности, априорной неопределенности, нестандартности изменения внешней обстановки и внутренних процессов. Имеет место значительная избыточность разнородной

(по типу, времени получения, достоверности и полноте) информации (фактов, данных, суждений). Управление осуществляется объектами с критической структурой, что ужесточает требования к принимаемым решениям на реализацию управления. Сохраняются важными функции оператора системы управления. Указанные особенности ужесточают требования к математическому и программно-алгоритмическому обеспечению современных автоматизированных эргатических информационно-управляющих систем.

Поэтому актуальной является задача выработки эффективных подходов к разработке математического обеспечения автоматизированных эргатических информационно-управляющих систем, составляющих кибернетическое пространство.

В статье рассматривается решение задачи идентификации при классификации нештатных (конфликтных) ситуаций в системах управления воздушным движением, навигации космических аппаратов, ведении контроля радиоэлектронной обстановки, идентификации конфликтных ситуаций при функционировании ситуационных центров, выявления компьютерных (кибернетических) атак на системы управления, идентификации источников радиоизлучения различной природы и характера.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ

Традиционно задачи идентификации решаются с использованием методов теории распознавания образов [2, 3]. Известно множество базовых подходов теории распознавания образов [2]. На наш взгляд, основной присущий им недостаток заключается в необходимости наличия статической структуры — образа идентифицируемого объекта [3]. Сопоставление образа распознаваемому объекту с оценкой меры соответствия отражает суть известных методов идентификации. Составление образа из косвенных признаков идентификации является отдельной сложной задачей априорного планирования и выводит задачу идентификации из разряда некорректных. Такой подход является неэффективным в современных условиях, так как неприемлем для задач идентификации в условиях конфликта со значительной априорной неопределенностью, большой размерностью и избыточностью внутренней и внешней информации.

Вместе с тем, практика показывает, что именно в условиях конфликта, априорной неопределенности и большой размерности существуют реальные физические объекты макро- и микромира: атомы и планетарные отношения, взаимодействие биологических структур и организмов, а также протекание многих процессов и явлений неживой природы [4, 5].

В последнее время широкое распространение получили идеи синергетики и методы самоорганизации, в том числе применительно к задачам управления. Тенденции развития и внедрение самоорганизующихся подходов позволяют предположить возможность их успешного применения для решения задач идентификации.

Цель статьи — разработка концепции идентификации контролируемых ситуаций на основе самоорганизации разнородных признаков.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Пусть существует множество объектов идентификации (ОИ) разного типа $R = \{R_1, R_2, \dots, R_i\}$, $i = 1 \dots n$. В качестве ОИ рассматриваются: конфликтные ситуации; информационные и кибернетические атаки; компьютерные вирусы; радиотехнические системы (пилотируемые и беспилотные воздушные, космические аппараты, пункты управления различного назначения с радио- и радиолокационными станциями и другим оборудованием, имеющим излучение в акустическом, радио-, видео- и инфракрасном диапазоне волн) и другие, подлежащие идентификации системы, процессы, события. Априорно является неопределенным тип идентифицируемых объектов, их состав, количество и динамика действий (изменение состояния).

Каждый ОИ имеет совокупность разнородных признаков, которые целесообразно разделить на три категории: факты; данные; суждения. *Факты*, описываемые далее множеством $F = \{F_1\{f_{11}, f_{12}, \dots, f_{1j}\}, F_2\{f_{21}, f_{22}, \dots, f_{2j}\}, \dots, F_i\{f_{ij}\}\}$, $j = 1 \dots m_1, m_2, \dots, m_i$ — представляют собой объективную информацию про ОИ, отражаемую численной величиной, например космический (или от аэродинамического объекта) снимок ОИ, его очертания, состав, динамика изменения формы и т.д. Категория признаков *данные* — $D = \{D_1\{d_{11}, d_{12}, \dots, d_{1l}\}, D_2\{d_{21}, d_{22}, \dots, d_{2l}\}, \dots, D_i\{d_{il}\}\}$, $l = 1 \dots L_1, L_2, \dots, L_i$ — объединяют измерительную информацию про ОИ, например его координаты, параметры траектории движения (в том числе экстраполированные), характеристики излучаемых сигналов, эффективная поверхность рассеивания, радиолокационный портрет и т.д. *Суждения* — $S = \{S_1\{s_{11}, s_{12}, \dots, s_{1k}\}, S_2\{s_{21}, s_{22}, \dots, s_{2k}\}, \dots, S_i\{s_{ik}\}\}$, $k = 1 \dots K_1, K_2, \dots, K_i$ — объединяют субъективную информацию про ОИ, например его характер действий, содержание радиообмена борт-земля воздушного корабля, состояние ОИ и т.д.

Конкретный ОИ включает в себя уникальную комбинацию принадлежащих ему подмножеств признаков: фактов — $F_i\{f_{ij}\}$; данных — $D_i\{d_{il}\}$; суждений — $S_i\{s_{ik}\}$ из пространства F, D, S . Уникальность ОИ отражается комбинацией и численными характеристиками отдельных признаков.

Тогда, в соответствии с введенными обозначениями, ОИ априорно можно охарактеризовать множеством (R_i):

$$R_i \subset F_i\{f_{ij}\} \cup D_i\{d_{il}\} \cup S_i\{s_{ik}\} = \{F_i\{f_{ij}\}, D_i\{d_{il}\}, S_i\{s_{ik}\}\} = R_i. \quad (1)$$

В процессе наблюдения за объектами с целью их идентификации, для конкретного момента времени в ограниченном пространственном районе формируются *апостериорные множества признаков*: фактов — $\hat{F}_i\{\hat{f}_{ij}\}$; данных — $\hat{D}_i\{\hat{d}_{il}\}$; суждений — $\hat{S}_i\{\hat{s}_{ik}\}$, принадлежащих тому же

пространству F, D, S .

$$W = \left\{ \begin{array}{l} F = \{ \hat{F}_1 \{ \hat{f}_{11}, \hat{f}_{12}, \dots, \hat{f}_{1j} \}, \hat{F}_2 \{ \hat{f}_{21}, \hat{f}_{22}, \dots, \hat{f}_{2j} \}, \dots, \hat{F}_i \{ \hat{f}_{ij} \} \} \\ D = \{ \hat{D}_1 \{ \hat{d}_{11}, \hat{d}_{12}, \dots, \hat{d}_{1l} \}, \hat{D}_2 \{ \hat{d}_{21}, \hat{d}_{22}, \dots, \hat{d}_{2l} \}, \dots, \hat{D}_i \{ \hat{d}_{il} \} \} \\ S = \{ \hat{S}_1 \{ \hat{s}_{11}, \hat{s}_{12}, \dots, \hat{s}_{1k} \}, \hat{S}_2 \{ \hat{s}_{21}, \hat{s}_{22}, \dots, \hat{s}_{2k} \}, \dots, \hat{S}_i \{ \hat{s}_{ik} \} \} \end{array} \right\} = \\ = \{ \hat{F}_i \{ \hat{f}_{ij} \}, \hat{D}_i \{ \hat{d}_{il} \}, \hat{S}_i \{ \hat{s}_{ik} \} \} \quad (2)$$

Суть апостериорных множеств признаков — экспериментальные данные и субъективные оценки с соответствующими видами ошибок. Апостериорно неопределенной является принадлежность полученных фактов, данных и суждений конкретному ОИ.

Задача идентификации заключается в определении типа ОИ путем установления соответствия значений показателей из *апостериорного множества признаков* (2) с содержимым *априорного множества признаков* (1). Далее информация идентификации используется для формирования общей обстановки в контролируемом районе, прогноза динамики последующих действий ОИ и изменения ситуации в целом.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ КОНТРОЛИРУЕМЫХ СИТУАЦИЙ

В качестве ограничивающей аксиоматики можно принять следующее.

Аксиома 1. Из всего поля ОИ и признаков найдется исчерпывающий их перечень, принадлежащий конкретному объекту, который можно описать математически в виде множества, группы, фрактала или кластера.

Аксиома 2. Категории «ОИ — признак» связаны функционально некоторым законом взаимодействия по причине единства первичных физических явлений, характерных для функционирования ОИ и порождающих вторичные явления — признаки.

Аксиома 3. Решение задачи идентификации заключается в выделении множества, группы (фрактала, кластера) «ОИ — признаки» на основании законов их взаимодействия.

Решаемая задача идентификации отличается своей формализацией, а также условиями высокой динамичности и нестандартности изменения внешней обстановки, значительной избыточностью разнородной информации для идентификации. Так для статического варианта традиционный прямой перебор всех возможных сочетаний соответствия образа 10 ОИ с $k = 10$ признаками по выборке из $n = 100$ измерений составит $C_n^k = n! [k!(n-k)!]^{-1} = 17310309 \cdot 10^6$ операций, на обработку которых потребуется около 3 минут работы современной вычислительной техники. Реальные ситуации большей размерности с динамично обновляемой выборкой измерений приведут к катастрофическому увеличению времени на идентификацию. Выход из этой ситуации может быть найден в использовании синергетических подходов самоорганизации сложных систем [1,6–8].

САМООРГАНИЗАЦИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Основным свойством самоорганизующихся систем является их самопроизвольное упорядочивание, образование и эволюция пространственных и временных структур. Самоорганизация возникает в системах и процессах, обладающих свойствами открытости, неравновесности, возникновения и усиления флуктуаций, наличия положительной обратной связи и обладающих достаточным количеством взаимодействующих элементов [1,6–8].

Для анализа формализованной задачи идентификации на наличие в ней признаков, характерных для самоорганизующихся систем и процессов, проведена ее интерпретация с выделением составляющих элементов, информационных процессов их взаимодействия, взаимосвязи с внешней средой в виде структурной схемы рис. 1.

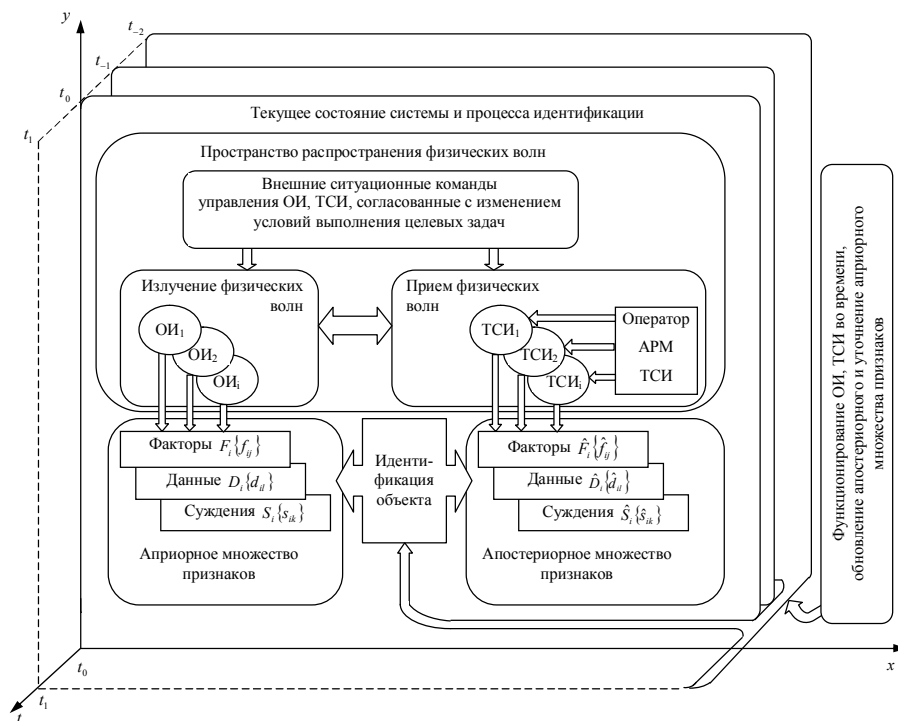


Рис. 1. Система и процессы идентификации

Элементами системы идентификации являются: разнородные ОИ, технические средства измерения (ТСИ) параметров физических волн, излучаемых объектами; работающие на них операторы автоматизированных рабочих мест (АРМ); априорные и апостериорные множества признаков. Принятые условия высокой динамичности и нестандартности изменения внешней обстановки, значительной избыточности разнородной информации для идентификации позволяют утверждать о соответствии системы идентификации и протекающих в ней процессов требованию наличия *критического количества взаимодействующих элементов.*

В системе идентификации *протекают процессы:* внешнего

ситуационного управления ОИ, ТСИ с изменением целевых задач; изменения пространственного положения и состава ОИ, ТСИ с течением времени и внешней обстановки; излучения и приема физических волн; функционирования ОИ, ТСИ, операторов АРМ; получения апостериорного множества фактов, данных, суждений, их обновление с течением времени. Указанные процессы протекают и взаимодействуют в физическом координатно-временном пространстве, а также в виртуальном информационном пространстве. Изменения в указанных категориях под действием внешних факторов приводят к итерационному изменению информационных процессов идентификации, что соответствует свойству *открытых систем (процессов) с наличием положительной обратной связи*.

Флюктуационными процессами, порождающими самоорганизацию системы идентификации, можно считать получение и обновление (уточнение) с течением времени апостериорного множества фактов, данных, суждений.

Свойство *неравновесности* системы идентификации и процессов, в ней протекающих, подтверждается наличием априорного множества признаков — высокоорганизованного прототипа системы, к которому должно стремиться текущее состояние системы, заданное апостериорным множеством признаков.

Таким образом, формализованная задачи идентификации, представленная в виде системы и процессов идентификации, отвечает всем свойствам самоорганизации. Самопроизвольная самоорганизация технических систем возможна на основе разработанных для них математических моделей самоорганизации. Мерой организованности системы служит энтропия, которая уменьшается с увеличением уровня организации системы [6–8]. Следовательно, имеем *исходную систему* большой размерности с высоким уровнем энтропии, характеризуемую апостериорным множеством признаков. Необходимо создать математическую модель ее самоорганизации, приближая к прототипу с меньшей энтропией, определяемым априорным множеством признаков (*конечная система*).

СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИДЕНТИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ САМООРГАНИЗАЦИИ

Исходной информацией для идентификации является априорная выборка признаков (1) для момента времени t_0 , представленная в виде табл. 1.

В ней категория «факты» представлена в развернутом виде, аналогично можно расписать и другие подмножества данных и суждений. Предполагается, что тем или иным способом (путем измерения или экспертного оценивания) каждому признаку установлена его численная мера. Табл. 1 можно модифицировать, получив для каждого i -го признака монотонный убывающий или возрастающий ряд. В результате имеем перемешивание индексов ОИ, признаков (см. табл. 2) с ключом первоначальной их принадлежности в виде табл. 1.

Таблица 1

Априорное множество признаков

Категории признаков	Объекты идентификации							
	R_1		R_2		R_i		R_n	
F	F_1	f_{11}	F_2	f_{21}	F_i	f_{i1}	F_n	f_{n1}
		f_{12}		f_{22}		f_{i2}		f_{n2}
		f_{1j}		f_{2j}		f_{ij}		f_{nj}
		f_{1m_1}		f_{2m_2}		f_{im_i}		f_{nm_n}
D	$D_1 \{d_{1L_1}\}$		$D_2 \{d_{2L_2}\}$		$D_i \{d_{iL_i}\}$		$D_n \{d_{nL_n}\}$	
S	$S_1 \{s_{1K_1}\}$		$S_2 \{s_{2K_2}\}$		$S_i \{s_{iK_i}\}$		$S_n \{s_{nK_n}\}$	

Аналогичной операции подвергается апостериорное множество признаков (2), в результате чего получим модифицированную таблицу, например в виде табл. 3.

Для табл. 3 неизвестными являются индексы ОИ — x_n с принадлежностью к ним значений признаков трех категорий, а также их комбинация. Группирование признаков к ОИ является ключевой задачей идентификации на основе самоорганизации.

Таблица 2

Модифицированное априорное множество признаков

Категории признаков	Объекты идентификации							
	R_1		R_2		R_i		R_n	
F	F_1	f_{n1}	F_2	f_{21}	F_i	f_{i1}	F_n	f_{11}
		f_{12}		f_{i2}		f_{22}		f_{n2}
		f_{ij}		f_{nj}		f_{1j}		f_{2j}
		f_{2m_2}		f_{1m_1}		f_{nm_n}		f_{im_i}
D	$D_1 \{d_{1L_1}\}$		$D_2 \{d_{2L_2}\}$		$D_i \{d_{iL_i}\}$		$D_n \{d_{nL_n}\}$	
S	$S_1 \{s_{1K_1}\}$		$S_2 \{s_{2K_2}\}$		$S_i \{s_{iK_i}\}$		$S_n \{s_{nK_n}\}$	

Монотонность модифицированных рядов априорных (табл. 2) и апостериорных (табл. 3) признаков позволяет провести их полиномиальное сглаживание с использованием метода наименьших квадратов (МНК) [9]. Результатом являются полиномиальные модели изменения значения каждого конкретного i -го признака в группе (факты, данные, суждения) в поле i -х ОИ вида:

для априорных множеств признаков (априорные модели) —

$$\begin{aligned}
 f_j(N) &= f_0 + f_1N + f_2N^2 + \dots, \quad d_l(N) = d_0 + d_1N + d_2N^2 + \dots, \\
 s_k(N) &= s_0 + s_1N + s_2N^2 + \dots,
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

для апостериорных множеств признаков (апостериорные модели) —

$$\hat{f}_j(N) = \hat{f}_0 + \hat{f}_1 N + \hat{f}_2 N^2 + \dots, \hat{d}_i(N) = \hat{d}_0 + \hat{d}_1 N + \hat{d}_2 N^2 + \dots, \quad (4)$$

$$\hat{s}_k(N) = \hat{s}_0 + \hat{s}_1 N + \hat{s}_2 N^2 + \dots$$

Таблица 3

Модифицированное апостериорное множество признаков

Категории признаков	Объекты идентификации							
	R_{x_1}		R_{x_2}		R_{x_i}		R_{x_n}	
F	\hat{F}_1	\hat{f}_{21}	\hat{F}_2	\hat{f}_{n1}	\hat{F}_i	\hat{f}_{i1}	\hat{F}_n	\hat{f}_{11}
		\hat{f}_{n2}		\hat{f}_{i2}		\hat{f}_{22}		\hat{f}_{12}
		\hat{f}_{nj}		\hat{f}_{ij}		\hat{f}_{1j}		\hat{f}_{2j}
		\hat{f}_{2m_2}		\hat{f}_{nm_n}		\hat{f}_{1m_1}		\hat{f}_{im_i}
D	$\hat{D}_1 \{ \hat{d}_{1L_1} \}$		$\hat{D}_2 \{ \hat{d}_{2L_2} \}$		$\hat{D}_i \{ \hat{d}_{iL_i} \}$		$\hat{D}_n \{ \hat{d}_{nL_n} \}$	
S	$\hat{S}_1 \{ \hat{s}_{1K_1} \}$		$\hat{S}_2 \{ \hat{s}_{2K_2} \}$		$\hat{S}_i \{ \hat{s}_{iK_i} \}$		$\hat{S}_n \{ \hat{s}_{nK_n} \}$	

Аргументом N является процесс, описываемый сеткой измерений — $N = 1, 2, 3, \dots$ и интерпретируемый по своим значениям для каждого реального индекса исходных множеств (1), (2). На этапе сглаживания и получения полиномиальных моделей (3), (4) следует провести синхронизацию сеток измерений для каждого признака априорного и апостериорного множеств. Это реализуется по нескольким контрольным точкам наибольшей близости текущих значений признаков f_{im_i} и \hat{f}_{im_i} (см. рис. 2).

По сути, такая операция уже устанавливает соответствие значений апостериорных признаков в каждой категории априорных с известной принадлежностью вторых к конкретному ОИ. При этом модели (3) и (4) должны полностью совпадать, что для предложенного подхода является признаком идентификации объектов. Однако задача идентификации еще не является решенной, поскольку апостериорная комбинация групп признаков для каждого ОИ не найдена, да и апостериорная выборка признаков должна быть подвержена более тщательному анализу и обработке.

Суть априорного множества признаков (данных табл.3) заключается в экспериментальном их характере — измерения, получаемые объективно с использованием технических средств измерения или субъективно в виде усредненных суждений. Следовательно, для априорного множества признаков характерно появление: случайных ошибок (СО) измерений (к ним отнесем и флуктуации нечетких данных), грубых ошибок измерений (аномальных выбросов (измерений), явных промахов в суждениях, а также оценок и измерений, принадлежащих ОИ, не входящему в перечень априорного множества признаков). Указанные причины приводят к несовпадению моделей (3) и (4). Тогда, избавившись от грубых измерений (ГИ) и уменьшив СО, можно получить апостериорную выборку по каждому

признаку с привязкой к конкретному ОИ. При этом будем наблюдать приближение модели (4) к модели (3), что является приближением состояния системы идентификации, описываемое моделью (4), по уровню своей организации к аттрактору системы с более высоким уровнем организации [8], которая описывается моделью (3). При этом энтропия конечной системы идентификации уменьшается по отношению к исходной.

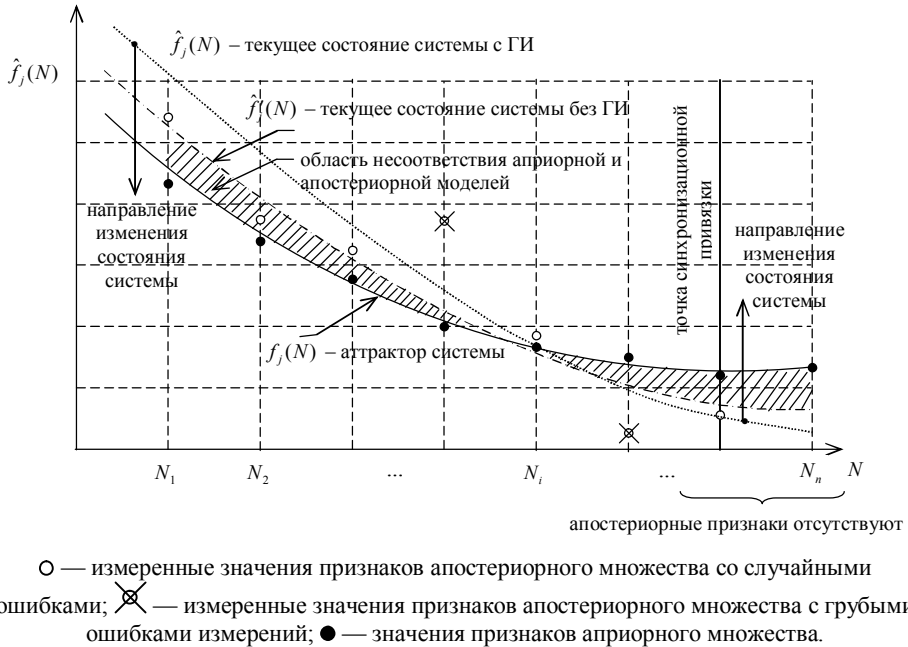


Рис. 2. Схема процесса синхронизации и самоорганизации

Реализовать описанный процесс предлагается следующим образом. Выборка измерений апостериорного множества признаков подвергается предварительной обработке с целью выявления грубых измерений. Для этого будем использовать апробированный рекуррентный алгоритм выявления аномальных измерений, основанный на анализе динамики изменения аппроксимирующей модели [10]. Обнаруженные ГИ удаляются из выборки измерений апостериорных признаков и накапливаются в базе данных новых ОИ. По свободной от ГИ выборке формируются полиномиальные модели вида

$$\hat{f}'_j(N) = \hat{f}'_0 + \hat{f}'_1 N + \hat{f}'_2 N^2 + \dots, \hat{d}'_i(N) = \hat{d}'_0 + \hat{d}'_1 N + \hat{d}'_2 N^2 + \dots, \quad (5)$$

$$\hat{s}'_k(N) = \hat{s}'_0 + \hat{s}'_1 N + \hat{s}'_2 N^2 + \dots$$

В дальнейшем необходимо оценить попарно близость модельных функций: $f_j(N)$ и $\hat{f}_j(N)$, $f_j(N)$ и $\hat{f}'_j(N)$ на ограниченном интервале признаков с аналогичным повторением этих процедур для категорий данных и суждений. Реализовать оценивание меры схожести моделей, описывающих изменение априорных и апостериорных множеств признаков, предлагается путем расчета и оценивания величины квадрата невязки площадей фигур

(КНПФ), ограниченных кривыми $f_j(N)$, $\hat{f}_j(N)$, $\hat{f}'_j(N)$ (см. рис. 2) по формуле

$$\delta = \left[\int_{N_1}^{N_n} f_j(N) dN - \int_{N_1}^{N_n} \hat{f}_j(N) dN \right]^2, \quad \delta' = \left[\int_{N_1}^{N_n} f_j(N) dN - \int_{N_1}^{N_n} \hat{f}'_j(N) dN \right]^2. \quad (6)$$

Параметр (6) выбран благодаря учету в нем множественного отношения имеющихся априорных и полученных апостериорных признаков идентификации в виде числовой меры разности площадей. Квадратичная форма позволяет учесть положительные и отрицательные знаки в разности площадей плоскостных фигур под рассматриваемыми кривыми.

Признаком достижения необходимого уровня организованности системы идентификации может служить факт выполнения неравенства

$$\max \delta < (\delta' < \delta) < \min \delta. \quad (7)$$

Неравенство $(\delta' < \delta)$ характеризует эволюцию системы и выполняется при правильной селекции ГИ, т.е. принята верная гипотеза о принадлежности значений апостериорного множества признаков идентифицируемому объекту. Выполнение неравенства $\max \delta < (...) < \min \delta$ характеризует достижение требуемого уровня организованности системы идентификации. Значение $\max \delta$ определяется при наличии в экспериментальной выборке СО, а также 50 % и более ГИ. Значение $\min \delta$ определяется только при наличии СО.

Процесс селекции измеренных признаков с контролем условия (7) порождает эволюцию системы идентификации, выражающуюся в приближении функций текущего состояния системы $\hat{f}_j(N)$, $\hat{d}_j(N)$, $\hat{s}_j(N)$ через промежуточные состояния, описываемые моделями $\hat{f}'_j(N)$, $\hat{d}'_j(N)$, $\hat{s}'_j(N)$, к аттракторам в виде конкретных моделей $f_j(N)$, $d_j(N)$, $s_j(N)$ (см. рис. 2). Этот процесс повторяется с изменением внешних условий идентификации — обновления или уточнения значений признаков апостериорного множества с течением времени, дообучения системы идентификации и т.д. Таким образом, самоорганизация системы достигается путем приведения исходного ее состояния к упорядоченному с меньшей энтропией. Свидетельством упорядоченности системы идентификации является узловая привязка по параметру N признаков апостериорного множества к конкретному ОИ — R_i . Сопоставление i -х и x_i -х коэффициентов при ОИ в табл. 2, 3 по сути дает частное решение задачи идентификации отдельно по каждой категории и признаку в ней. Поэтому далее необходимо перейти к комбинаторной идентификации ОИ по совокупности всех его признаков. Для этого используется многокритериальная модель идентификации [13].

Объединение признаков осуществляется последовательно в пределах категорий и по категориям. Для этого применяется технология вложенных

сверток с нелинейной схемой компромиссов [14]. Для дискретного описания признаков свертка имеет вид:

$$Y(y_0) = \sum_{f=1}^b \gamma_{0f} (1 - y_{0f})^{-1} \rightarrow \min, \quad (8)$$

где $f=1..b$ — количество включенных в свертку признаков; γ_{0f} — нормированный весовой коэффициент; y_{0f} — нормированный признак.

По свертке (8) формируются обобщенные признаки для каждого R_i -го ОИ из априорного множества признаков P_{Ei} и предварительно идентифицированных признаков из апостериорного множества P_i

$$P_{Ei} = \sum_{j=1}^{m_i} \gamma_{f0ij} [1 - f_{0ij}]^{-1} + \sum_{l=1}^{L_i} \gamma_{d0il} [1 - d_{0il}]^{-1} + \sum_{k=1}^{K_i} \gamma_{s0ik} [1 - s_{0ik}]^{-1},$$

$$P_i = \sum_{j=1}^{m_i} \gamma_{f0ij} [1 - \hat{f}_{0ij}]^{-1} + \sum_{l=1}^{L_i} \gamma_{d0il} [1 - \hat{d}_{0il}]^{-1} + \sum_{k=1}^{K_i} \gamma_{s0ik} [1 - \hat{s}_{0ik}]^{-1} \quad (9)$$

Нормировка признаков осуществляется относительно суммы значений по всем ОИ. Числовые значения меры соответствия ОИ его обобщенным данным априорного множества признаков рассчитываются согласно выражениям

$$\Omega_1 = \frac{P_1}{P_{E1}}, \Omega_2 = \frac{P_2}{P_{E2}}, \dots, \Omega_i = \frac{P_i}{P_{Ei}}, \dots, \Omega_n = \frac{P_n}{P_{En}}. \quad (10)$$

Решение про идентификацию объекта принимается при выполнении условия $\Omega_i > 0,5$, что обеспечивает совместный групповой учет признаков.

В результате получаем упорядоченное апостериорное множество признаков с принадлежностью каждого его элемента конкретному объекту ОИ при этом энтропия конечной системы и процесса идентификации уменьшается.

$$W = \{\hat{F}_i \{\hat{f}_{ij}\}, \hat{D}_i \{\hat{d}_{il}\}, \hat{S}_i \{\hat{s}_{ik}\}\} = R_i, \quad (11)$$

Описанные действия повторяются с течением времени при уточнении или обновлении апостериорного множества признаков (2). Последовательное формирование и использование выражений (3)–(5), (7), (19)–(11) представляет собой самоорганизующуюся математическую модель идентификации, обладающую свойствами упорядочивания образования и эволюции структур: объекты идентификации — апостериорные признаки.

Таким образом, концепцию идентификации на основе самоорганизации можно представить последовательностью этапов структурной схемы рис. 3.

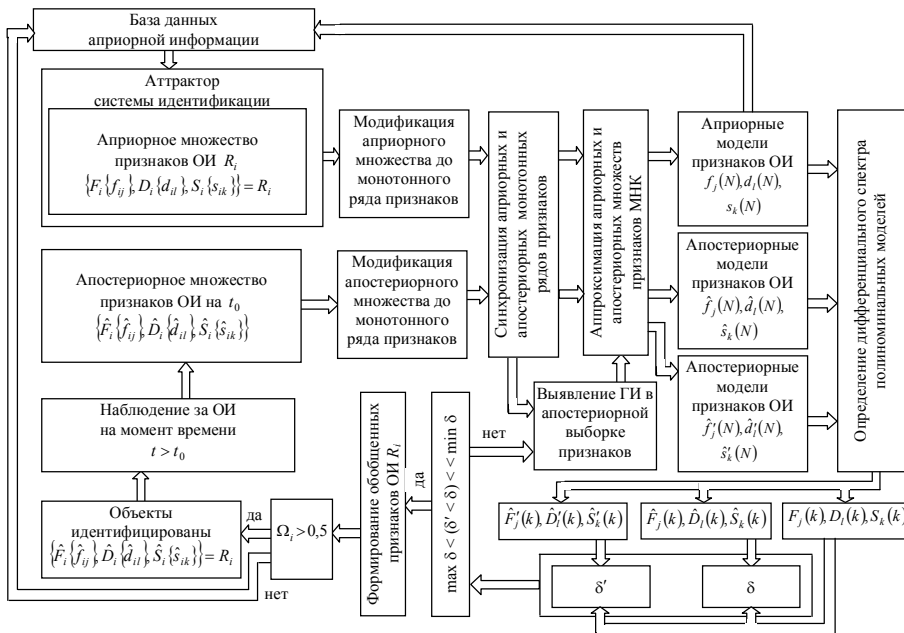


Рис. 3. Этапы концепции идентификации на основе самоорганизации

Процесс идентификации начинается с получения на момент времени t_0 апостериорного множества признаков про ОИ (полагается заполненной база данных априорной информации про возможные ОИ и их признаки — аттрактор системы). Априорные и апостериорные признаки подвергаются модификации до получения монотонных рядов (см. табл. 2, 3) с последующей синхронизацией выборок (см. рис. 1). Далее в апостериорных выборках признаков выявляются ГИ. Полученные синхронизированные и свободные от ГИ выборки аппроксимируются с использованием МНК, чем формируются модели вида (3), (4), (5). После расчета величин КНПФ δ , δ' проверяется условие (7) и реализуется формирование обобщенных признаков для идентификации ОИ по соотношению (9). При выполнении условия $\Omega_i > 0,5$ для конкретного ОИ задача идентификации является решенной. В противном случае принимается решение о выявлении нового объекта с перечнем признаков. Проверка условия $\Omega_i > 0,5$ реализуется для всего множества объектов, возможных для идентификации и для которых получены обобщенные признаки Ω_i . На последующий момент времени $t > t_0$ все описанные этапы повторяются.

Расчетный пример для проверки работоспособности изложенного подхода заключался в следующем. Пусть для некоторого ОИ с известным априорным множеством признаков в виде данных $D_i \{d_{iL_i}\}_1$ получено апостериорное множество $\hat{D}_i \{\hat{d}_{iL_i}\}_4$, модифицированное до возрастающего ряда (табл. 4).

Таблица 4

Модифицированные априорные и апостериорные множества признаков

Признаки		Объекты идентификации									
		R_{x_1}	R_{x_2}	R_{x_3}	R_{x_4}	R_{x_5}	R_{x_6}	R_{x_7}	R_{x_8}	R_{x_9}	$R_{x_{10}}$
1	$D_i \{d_{iL_i}\}_1$	1,20	2,40	4,50	6,00	8,00	10,00	12,00	13,60	17,20	20,60
2	$D_i \{d_{iL_i}\}_{S2}$	1,35	2,65	4,14	5,83	7,72	9,80	12,08	14,56	17,23	20,10
3	$\hat{D}_i \{\hat{d}_{iL_i}\}_3$	1,20	2,40	4,50	6,00	9,20	10,00	12,00	13,60	17,20	20,60
4	$\hat{D}_i \{\hat{d}_{iL_i}\}_4$	1,61	2,72	4,86	5,73	8,73	10,22	11,76	13,85	16,86	20,81
5	$\hat{D}_i \{\hat{d}_{iL_i}\}_{S5}$	1,75	2,98	4,41	6,05	7,88	9,92	12,16	14,60	17,25	20,09
6	$\hat{D}_i \{\hat{d}'_{iL_i}\}_{S6}$	1,81	2,91	4,25	5,83	7,64	9,68	11,96	14,48	17,23	20,21

В примере выборка апостериорных признаков содержит только одно грубое измерение, не принадлежащее ОИ — для R_{x_5} . Рассматриваемый случай с тривиальным решением позволяет оценить работоспособность предложенного подхода к идентификации. В табл. 3 приняты обозначения: $D_i \{d_{iL_i}\}_{S2}$ — оценки априорных данных, полученные при использовании априорных моделей, построенных по выборке $D_i \{d_{iL_i}\}_1$; считаются известными идеальные (без случайных ошибок измерений) элементы апостериорных множеств признаков $\hat{D}_i \{\hat{d}_{iL_i}\}_3$; $\hat{D}_i \{\hat{d}_{iL_i}\}_4$ — зашумленные ошибками измерений с нормальным законом распределения, нулевым средним и с дисперсией, равной 0,2 ед., элементы апостериорного множества признаков; $\hat{D}_i \{\hat{d}_{iL_i}\}_{S5}$ — оценки элементов апостериорного множества признаков, полученные при использовании апостериорных моделей с полной выборкой измерений; $\hat{D}_i \{\hat{d}'_{iL_i}\}_{S6}$ — оценки элементов апостериорного множества признаков, полученные при использовании апостериорных моделей по свободной от ГИ выборке.

По выборке $D_i \{d_{iL_i}\}_1$ с использованием МНК получены априорные модели вида

$$d(N) = 0,2517 + 1,00039N + 0,0981N^2. \tag{12}$$

Аналогичным образом по полной выборке $\hat{D}_i \{\hat{d}_{iL_i}\}_4$ получена апостериорная модель

$$\hat{d}_i(N) = 0,7297 + 0,9257N + 0,1011N^2, \tag{13}$$

а по выборке без ГИ модель вида

$$d'(N) = 0,9471 + 0,7512N + 0,1176N^2. \tag{14}$$

Сравнение модели (12) с (13) и (14) позволяет оценить величины КНПФ, ограниченных ими: $\delta = 2,0451$; $\delta' = 0,0592$. Полученные значения свидетельствуют о выполнении внутреннего неравенства (7). Следовательно, для рассматриваемого примера элементы апостериорного множества $\hat{D}_i \{ \hat{d}_{iL_i} \}_3$ можно принять принадлежащими ОИ кроме R_{x_5} . Таким образом, можно утверждать об уменьшении энтропии исходного состояния системы (взаимосвязи ОИ — признак), характеризуемой апостериорным множеством признаков $\hat{D}_i \{ \hat{d}_{iL_i} \}_4$. Расчет вычислительной сложности предложенного подхода реализован для исходных данных оценивания сложности методов прямого перебора. Результаты расчетов для стократного повторения этапа получения априорных моделей составили 48888400 вычислительных операций с обработкой их за 10^{-5} с. машинного времени, что значительно меньше в сравнении с традиционным подходом.

Выводы

В статье предложена концепция идентификации на основе самоорганизации, базирующаяся на последовательном формировании и использовании самоорганизующейся математической модели идентификации, которая обладает свойствами упорядочивания образования и эволюции структур: объекты идентификации — апостериорные признаки. Модельное описание априорных и апостериорных множеств признаков позволяет избежать необходимости комбинаторного перебора сравниваемых признаков образа с ОИ и обеспечивает снижение размерности решаемой задачи.

1. Кузнецова В.Л. Самоорганизация в технических системах / В.Л. Кузнецова, М. А. Раков. — К. : Наук. думка, 1987. — 200 с.
2. Потапов А. С. Распознавание образов и машинное восприятие: Общий подход на основе принципа минимальной длины описания / А. С. Потапов. — СПб. : Политехника, 2007. — 548 с.
3. Вопросы статистической теории распознавания / Под ред. В.В. Варского. — М. : Сов. радио, 1967. — 399 с.
4. Павлов В.В. Конфликт в технических системах. Управление, целостность / В.В. Павлов. — К. : Вища школа. Головное изд-во, 1982. — 184 с.
5. Павлова С.В. Виртуальные Эйнштейновские силовые поля в синергии навигационного пространства сложных эргатических систем / С.В. Павлова, В.В. Павлов, В.И. Чепиженко // Вісник НАУ. — 2012 — №3 — С. 15–27.
6. Хакен Г. Синергетика / Пер. с англ. под ред. Ю.Л. Климантовича, С.М. Осовца. — М. : Мир, 1980. — 404 с.
7. Ивахненко А.Г. Принятие решений на основе самоорганизации / А.Г. Ивахненко, Ю.П. Зайченко, В.Д. Дмитриев. — М. : Сов. радио, 1979. — 280 с.
8. Никитенков Н.Н. Синергетика для инженеров: учебное пособие / Н.Н. Никитенков, Н.А. Никитенкова. — Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2009. — 168 с.
9. Ковбасюк С.В. Метод найменших квадратів та його практичне застосування: Монографія / С.В. Ковбасюк, О.О. Писарчук, М.Ю. Ракушев. — Житомир: ЖВІ НАУ, 2008. — 228 с.

10. Ковбасюк С.В. Алгоритм виявлення аномальних радіолокаційних вимірів / С.В. Ковбасюк, О.О. Писарчук, Є.Ю. Пономарьов // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. — 2003. — № 3 (27). — С. 79–83.
11. Пухов Г.Е. Дифференциальные преобразования и математическое моделирование физических процессов / Г.Е. Пухов. — Киев: Наук. Думка, 1986. — 159 с.
12. Пухов Г.Е. Приближенные методы математического моделирования, основанные на применении дифференциальных T — преобразований / Г.Е. Пухов. — К.: Наук. Думка, 1988. — 216 с.
13. Писарчук О.О. Методика багатокритеріальної ідентифікації технічних засобів та контрольованих ситуацій за сукупністю ознак / О.О. Писарчук // зб. наук. пр. ВІКНУ. — 2010. — №26. — С. 90–96.
14. Воронин А.Н. Многокритериальные решения: модели и методы: монография / А.Н. Воронин, Ю.К. Зиатдинов, М.В. Ку克林ский. — К.: НАУ, 2011. — 348 с.

UDC: 519.711.3

CONCEPTION OF IDENTIFICATION OF THE CONTROLLED SITUATIONS ON BASIS OF SELF-ORGANISATION OF HETEROGENEOUS SIGNS

A.A. Pisarchuk

Zhitomir Military Institute n.a. S.P. Korolev of State University of telecommunications of the Ministry of Defense of Ukraine

Introduction: Considering management as the interdependent closed-loop chain of actions oriented on recognition, prediction, identification, decision-making and directly management in conditions of redundancy of internal and external information, task of making an effective approaches to development of automated ergatic information-management systems mathematical support on self-organization principles is actual.

Purpose: Development of conception of identification on basis of self-organization.

Results: Conception of identification, which is based on principles of self-organization, is offered in the article. The basis of conception is self-organizing mathematical model of identification, which is characterized of properties of arrangement of generating and evolution of structures: the identification objects are posteriori features. Developed model is based on interdependence of heterogeneous features (facts, information and judgments) of priori and posteriori information for each identification object. It provides the operative solution of identification problem in the conditions of considerable priori uncertainty and high dimensionality.

Conclusion: Simultaneous application of self-organization principles and model description of priori and posteriori sets of features allows to avoid the necessity of traditional combinatoric exhaustion of variants of coincidence of identification object and pattern and provides the decline of dimension of the current task. The results of calculations confirm the receipt of positive effect from suggested approach application.

Keywords: authentication, self-organization, attractor, uncertainty, high dimensionality.

1. Kuznecova V.L., Rakov M.A. *Samoorganizacija v tehniceskikh sistemah*. Kyiv: Nauk. Dumka, 1987. 200 p. (in Russian).
2. Potapov A.S. *Raspoznavanie obrazov i mashinnoe vosprijatie: Obshhij pohod na osnove principa minimal'noj dliny opisaniya*. SPb: Politehnika, 2007. 548 p. (in Russian).
3. Varskij V.V. *Voprosy statisticheskoy teorii raspoznavaniya*. Moskva: Sov. Radio, 1967. 399 p. (in Russian).
4. Pavlov V.V. *Konflikt v tehniceskikh sistemah. Upravlenie, celostnost'*. Kyiv: Vishha shkola. Golovnoe izd-vo, 1982. 184 p. (in Russian).
5. Chepizhenko V.I., Pavlova S.V., Pavlov V.V. Virtual'nye Jejnshtejnovskie silovye polja v sinergii navigacionnogo prostranstva slozhnyh jergaticeskikh sistem. *Visnik NAU*, 2012, no. 3, pp. 15–27. (in Russian).
6. Haken G. *Sinergetika*: per. s angl. pod red. Ju.L. Klimantovicha, S.M. Osovca. Moskva: Mir, 1980. 404 p. (in Russian).
7. Ivahnenko A.G., Zajchenko Ju.P., Dmitriev V.D. *Prinjatje reshenij na osnove samoorganizacii*. Moskva: Sov. radio, 1979. 280 p. (in Russian).
8. Nikitenkov N.N., Nikitenkova N.A. *Sinergetika dlja inzhenerov: uchebnoe posobie*. Tomsk : Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2009. 168 p. (in Russian).
9. Kovbasjuk S.V., Pysarchuk O.O., Rakushev M.Ju. *Metod najmenshyh kvadrativ ta jogo praktychne zastosuvannja*: Monografija. Zhytomyr: ZhVI NAU, 2008. 228 p. (in Ukrainian).
10. Kovbasjuk S.V., Pysarchuk O.O., Ponomar'ov Je.Ju. Algoritm vyjavlennja anomal'nyh radiolokacijnyh vymiriv. *Visnyk ZhDTU. Tehnichni nauky*, 2003, no. 3 (27), pp. 79–83. (in Ukrainian).
11. Puhov G.E. *Differencial'nye preobrazovaniya i matematicheskoe modelirovanie fizicheskikh processov*. Kiev: Nauk. dumka, 1986. 159 p. (in Russian).
12. Puhov G.E. *Priblizhennyye metody matematicheskogo modelirovanija, osnovannyye na primenenii differencial'nyh T — preobrazovanij*. Kiev: Nauk. Dumka, 1988. 216 p. (in Russian).
13. Pysarchuk O.O. Metodyka bagatokryterial'noi' identyfikacii' tehnicznyh zasobiv ta kontrol'ovanyh situacij za sukupnistju oznak. *Zb. nauk. pr. VIKNU*, 2010. no. 26. pp. 90–96. (in Ukrainian).
14. Voronin A.N., Ziatdinov Ju.K., Kuklinskij M.V. *Mnogokriterial'nye reshenija: modeli i metody: monografija*. Kyiv: NAU, 2011. 348 p. (in Ukrainian).

Получено 20.06.2014