

УДК 65.011.56:519.23:616

## СИНДРОМНЫЙ ПРИНЦИП УПРАВЛЕНИЯ СЛАБОФОРМАЛИЗОВАННЫМИ СИСТЕМАМИ И ПРОЦЕССАМИ

Ю.А. Прокопчук

*Институт технической механики НАНУ и НКАУ  
itk3@ukr.net*

У роботі наводиться принцип синдромного управління, який базується на синдромних моделях знань. Кожний синдром – це набір параметрів порядку розвитку складної ситуації або процесу. Для управління необхідно вибрати один чи декілька цільових синдромів і добиватися їх виконання. Завдяки принципу підкорення інші фактори ситуації будуть пристосовуватися до параметрів порядку цільового синдрому.

*Ключові слова: целенаправлена поведінка, принцип граничних узагальнень, графи доменів тестів, банк тестів, синдромні моделі знань, параметри порядку*

The paper presents the principle of syndrome control, which is based on syndrome knowledge models. Each syndrome is a set of order parameters of evolution of a system, a complex situation, or a process. To control, one has to choose one or more target syndromes and strive for their realization. Due to the subordination principle, the other factors of the situation will vary in such a way as to match the order parameters of the target syndrome. Syndrome knowledge models are constructed on the basis of the Principle of Limiting Generalizations.

*Keywords: control of purposeful behavior, Principle of Limiting Generalizations, graph of domains, syndrome, syndrome knowledge models, order parameters*

В работе излагается принцип синдромного управления, который базируется на синдромных моделях знаний. Каждый синдром – это набор параметров порядка развития системы, сложной ситуации или процесса. Для управления необходимо выбрать один или несколько целевых синдромов и добиваться их реализации. Благодаря принципу подчинения остальные факторы ситуации будут подстраиваться под параметры порядка целевого синдрома. Синдромные модели знаний строятся на основе Принципа предельных обобщений.

*Ключевые слова: управление целенаправленным поведением, принцип предельных обобщений, графы доменов тестов, синдром, синдромные модели знаний, параметры порядка*

### Введение

Рассмотрим целенаправленное поведение. Оно формируется целью и имеющимися ресурсами, которые мобилизуются для достижения цели (нахождение ресурсов также может быть частью цели). Цели в свою очередь можно разделить на стратегические, тактические и оперативные. Цель ничего не говорит о том, как ее достичь и как надо организовать целенаправленное поведение. Для того чтобы знать, как достичь цели, нужен опыт. Опыт основывается на прецедентах достижения цели (своих или чужих). Наилучшим образом задачи целенаправленного поведения решает человек, поэтому вполне закономерны следующие вопросы.

Как человек организует свое целенаправленное поведение и/или поведение других индивидуумов (*проблема целеполагания*)? Каковы принципы оценивания предметной области, текущей ситуации и какие когнитивные структуры для этого задействуются (*проблема памяти и проблема формирования опыта*)?

Как осуществляется «системогенез поведенческих актов» - *проблема синтеза и проблема памяти* (предполагают, что он сродни процессу формирования новых функциональных систем [1])? Каковы принципы обоснования достаточного (минимального) числа тактико-технических требований к управлению (*проблема мотивации*)? Ответ на эти и другие подобные вопросы важен для понимания принципов функционирования когнитивных динамических систем (естественных или искусственных), а также принципов построения партнерских систем, являющихся усилителями интеллекта специалистов.

Отметим, что целенаправленное поведение (развитие) свойственно не только человеку, но также социальным группам, активным системам (с участием человека), большим системам, когнитивным агентам и т.д.

Планирование целенаправленного поведения в значительной степени относится к миру качественного опыта, т.е. к области с нечеткой системологией [1-12]. В силу особенностей таких предметных областей (слабоформализованных или слабоструктурированных) подходы имитационного моделирования, ориентированные на использование количественных объективных оценок, и методы традиционной теории принятия решений, опирающейся на алгоритмы выбора лучшей альтернативы из множества четко сформулированных альтернатив, оказываются неэффективными для объяснения и моделирования феноменов целенаправленного поведения.

Недостатком текущих исследований в области естественного и искусственного интеллекта является отсутствие универсальной модели, логически связывающей все этапы формирования интеллектуальных актов, сопровождающих целенаправленное поведение. Основная проблема, стоящая на пути понимания когнитивных функций мозга и их реалистичного моделирования, заключается в отсутствии развернутой теории, объясняющей процессы (когнитивной) *самоорганизации* [1]. Нервная система, даже очень простая, обладает огромным числом степеней свободы и способностью быстро и избирательно сокращать их, организуя собственную деятельность и целенаправленное поведение. Детальные исследования механизмов формирования нового опыта показывают наличие скрытых процессов «созревания» памяти, протекающих в мозге на протяжении значительных периодов после приобретения опыта и сходных с процессами созревания функциональных систем при развитии. Как полагает Анохин К.В. [1], любое реалистичное моделирование когнитивных процессов, включая управление разноуровневым целенаправленным поведением, должно включать в себя воспроизведение этих закономерностей генеза функциональных систем.

Авторский подход к моделированию когнитивных функций вообще и управления в частности заключается в развитии двух взаимосвязанных базовых принципов: «Принципа предельных обобщений» и «Принципа полимодельной дополнительности, конкурентности и отбора» [10].

Принцип предельных обобщений (ППО) гласит: среди всех допустимых моделей (решений) следует выбрать модели (решения), которые обладают мак-

симальной общностью. Основная гипотеза состоит в том, что Принцип предельных обобщений олицетворяет «встроенную» *оптимальность мышления*.

Синергетический эффект использования разных моделей составляет основу для глубинной интеграции знаний и опыта (модельно – резонансный подход) [2, 3, 8]. Смысловая нагрузка понятия резонансного взаимодействия множества моделей заключается в том, что в отличие от простой суммы (например, простого голосования решающих правил), они (по аналогии с физическим смыслом резонанса волновых паттернов) коммуникативно взаимодействуют и качественно дополняют друг друга, образуя некую "открытую интерконцептуальную" систему и репрезентируя, таким образом, многомерное видение описываемого объекта.

Взаимодействие двух базовых принципов позволяет на уровне моделей выразить сложность субъективной реальности (качественного опыта) через непрерывное взаимодействие относительно простых структур с использованием автоматизмов среды и процессов диссипации всех видов [8]. Другими словами, данные принципы в полной мере характеризуют естественные (природные) процессы когнитивной самоорганизующейся критичности, позволяя выявить и сохранить в памяти конкурентные наборы параметров порядка развития производных ситуаций действительности.

В связке двух базовых принципов Принцип предельных обобщений играет роль *движущей и направляющей силы* самоорганизации, в то время как второй принцип создает необходимые предпосылки для возникновения самоорганизации. Развиваемый подход существенно опирается на синергетический принцип подчинения [2, 3], который определяет «подстройку» многочисленных факторов ситуации к параметрам порядка ситуации.

Синдромный принцип управления вытекает из базовых принципов и опирается на принцип подчинения. Процедурно он основывается на синдромных моделях знаний. Синдромные модели знаний, в свою очередь, формируются на основе базы прецедентов и онтологии предметной области [10]. Каждый синдром может выступать как в роли диагностического критерия, так и в роли цели управления, задавая параметры порядка целевой ситуации. Таким образом, разрешается проблема целеполагания. Реализация синдромного принципа управления может быть выполнена с помощью среды радикалов (в трактовке [12]), что в полной мере отвечает синергетическому подходу.

Ниже дано формальное описание методологии и основных этапов реализации синдромного принципа управления.

## 1. Формирование синдромных моделей знаний

Синдромные модели знаний раскрывают как общий механизм работы *памяти*, так и механизм формирования *опыта* решения широкого класса задач.

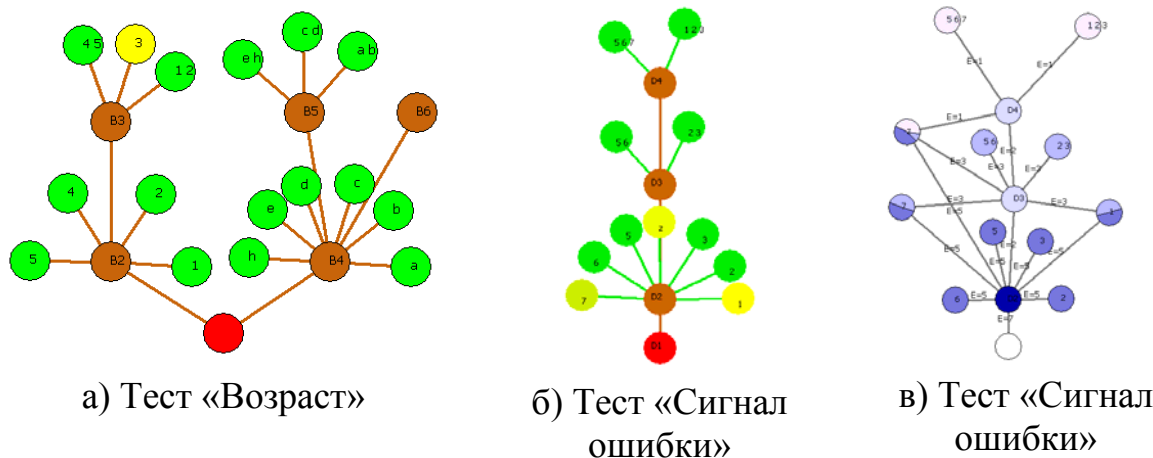
Пусть  $\{\tau\}$ - множество элементарных тестов, с помощью которых описывается любая ситуация действительности [7]. Элементарность теста означает,

что его результат может быть представлен в виде «тест = значение». Конкретный результат теста  $\tau$  будем обозначать  $\underline{\tau}$ . Значения тестов могут выбираться из разных доменов. Для фиксации того, что в качестве множества результатов теста  $\tau$  используется домен  $T$ , будем использовать нотацию:  $\tau/T$ .

Используя разные домены, можно управлять общностью (масштабом) результата одного и того же теста. Правила пересчета значений теста из одного домена в другой задает *ориентированный граф доменов*:  $G(\tau) = \{T \rightarrow T'\}_{\tau}$ . Каждая связка доменов ( $T \rightarrow T'$ ) является, по-сути, *элементарным оператором агрегирования* информации или *преобразования гранул*, так как каждый домен-потомок  $T'$  является результатом *грануляции информации*, содержащейся в домене-родителе  $T$ .

Банк тестов  $\{G(\tau)\}$  представляет собой множество орграфов доменов тестов. Банк тестов задает общую схему многоуровневой грануляции информации предметной области. От развитости банка тестов  $\{G(\tau)\}$  зависят инвариантные свойства предельных моделей знаний. Разные домены тестов формируют разные по уровню общности *описания действительности* (описания прецедентов), которые обозначим через  $\{\tau/T\}$ . Общее количество описаний определяется произведением числа вершин во всех орграфах доменов.

На рис. 1 представлены примеры структурно – завершенных орграфов доменов (базовые вершины расположены внизу) [7, 10].



$G(\text{Курение}) = \{1 \rightarrow 2 \rightarrow 3\}$ .

Орграфы доменов тестов содержат экспертные знания. Они являются удобным и математически корректным способом кодирования разноуровневых элементов эмпирических систем. Каждый орграф является, по-сути, моделью индуктивного обобщения результатов теста.

Орграфы доменов тестов – это не только набор эмпирических аксиом, но также и набор операций (непрерывных, интервальных, нечетких, сетевых, лингвистических, фрактальных, гранулярных), которые можно производить со значениями тестов разного уровня общности (разных сортов). Многообразие формализмов, замена переменных и параметров любой математической модели на элементарные тесты создает дополнительные степени свободы и, следовательно, является предпосылкой для возникновения процессов самоорганизации в вычислительной среде.

Пусть  $\Omega = \{\alpha(\{\tau/T\}, \underline{z}/Z)\}$  - множество ситуаций действительности (прецедентов) с известными исходами  $z \in Z = \{1, \dots, N\}$ . В качестве исходов (заключений) могут выступать диагнозы, прогнозы, варианты управления, оценки эффективности. Без ограничения общности предположим, что каждый тест входит в описание прецедента только один раз.

Будем говорить, что база прецедентов  $\Omega$  не содержит *конфликтов* на уровне общности  $\{\tau/T\}$ , если нет двух ситуаций с разными исходами, но совпадающими значениями тестов. Предполагается, что первоначально все прецеденты  $\alpha$  описаны с использованием максимально точных доменов (базовых доменов  $T_0$ ) всех тестов, а описание базы прецедентов  $\Omega(\{\tau/T_0\})$  не содержит конфликтов.

Под *формальным синдромом* (или просто - *синдромом*) понимается избыточная совокупность значений тестов  $\{\tau/T\}$ , позволяющая однозначно установить заключение  $\underline{z}/Z$ :

$$S = (\{\tau/T\} \rightarrow \underline{z}/Z). \quad (1)$$

С каждым синдромом  $S$  связано «облако» *сопряженных предельных синдромов*  $\{S^*\}$ , которое получается путем всех максимально допустимых обобщений синдрома  $S$  в рамках банка тестов  $\{G(\tau)\}$ . Предельный синдром является предельным в трех смыслах: его нельзя усилить, т.е. повысить ранг; его нельзя редуцировать и его нельзя обобщить ни по одному входящему тесту.

Совокупность синдромов  $\{S\}$  образует *синдромную модель знаний*, если она позволяет определить заключение, как минимум, для любой ситуации действительности из  $\Omega(\{\tau/T_0\})$ . Синдромная модель знаний *минимальна*, если из нее нельзя удалить ни один синдром без потери полноты охвата прецедентов из  $\Omega(\{\tau/T_0\})$ . Если кроме описания  $\Omega(\{\tau/T_0\})$  модель знаний  $\{S\}$  классифицирует все прецеденты в рамках описания  $\Omega(\{\tau/T\})$ , то будем использовать нотацию « $\{S\}$  на  $\Omega(\{\tau/T\})$ » или  $\{S\}_{\{\tau/T\}}$ . Могут быть найдены *критические описания*  $\{\tau/T\}^*$ , в рамках которых еще возможно построение синдромных моделей зна-

ний  $\{S\}_{\{\tau/T\}^*}$ . В рамках любого *закритического описания*  $\{\tau/T\} \geq \{\tau/T\}^*$  синдромные модели знаний  $\{S\}_{\{\tau/T\}}$  не существуют. В рамках любого *докритического описания*  $\{\tau/T\}$  такого, что  $\{\tau/T\}^* \geq \{\tau/T\}$ , модели знаний  $\{S\}_{\{\tau/T\}}$  гарантированно существуют.

Для любой синдромной модели знаний  $\{S\}$  можно построить *сопряженную предельную модель*  $\{S^*\}$ . Можно также найти все предельные синдромы на всех уровнях общности для каждой ситуации  $\alpha \in \Omega$ . Их объединение представляет собой *полную предельную синдромную модель знаний* на  $\langle \Omega, \{G(\tau)\} \rangle$ , которую обозначим  $\{S^*\}_{Full}$ . На основе  $\{S^*\}_{Full}$  могут быть построены (*абсолютно*) *минимальные предельные синдромные модели знаний*  $\{S^*\}_{Min}$ . Модель  $\{S^*\}_{Full}$  доминирует все другие модели знаний. Можно попытаться найти все  $\{S^*\}_{Min}$ , которые эквивалентны  $\{S^*\}_{Full}$ . Могут быть построены модели знаний, которые минимальны по тестам или максимальны по суммарному весу (с каждым синдромом связано множество характеристик, в частности, вес - % покрытия прецедентов).

Предельные синдромы и предельные синдромные модели знаний являются примерами критических когнитивных структур. Они строятся для любых задач управления (диагностики, прогнозирования, целеполагания, выбора управляющих воздействий) [8, 9].

Предельные синдромы, претендующие на статус инвариантов (не изменяются со временем и покрывают значительное число прецедентов), можно рассматривать в качестве параметров порядка развития сложных ситуаций. Действительно, смена одного предельного синдрома другим может привести к качественному изменению поведения системы или ситуации, которое вызвано сменой заключения  $\underline{z}/Z$ . Что касается *не* предельных синдромов, то их смена также может привести к качественному изменению поведения системы. Можно считать, что такие синдромы формируют *предпараметры порядка*. Наличие разных синдромов предопределяет конкуренцию параметров порядка [3].

Факт возможности смены качественного поведения системы (ситуации, процесса) путем целенаправленного изменения текущих синдромов и лежит в основе синдромного принципа управления.

## 2. Синдромный принцип управления

Как было отмечено выше, синдромный принцип управления можно отождествить с целенаправленным изменением управляющих параметров или параметров порядка. Параметры порядка содержатся в (предельных) синдромах – это значения тестов  $\{\tau/T\}_S$ .

Эволюцию (динамику) сложной системы или ситуации можно описать как последовательную смену множеств синдромов. Другими словами, *состояние системы* в момент времени  $t$  – это множество синдромов в момент времени  $t$ , т.е.  $\{S\}_t$ , причем все синдромы из  $\{S\}_t$  указывают на одно и то же заключение  $z$  (требование непротиворечивости состояния). Траектория – это последова-

тельность состояний. В процессе эволюции ситуации состав синдромов может изменяться без изменения  $z$ , а может скачком изменяться и  $z$ . На максимальном уровне обобщения (стратегическом уровне) траекторию можно описывать последовательностью изменений заключений  $z$ . Изменение состава синдромов в состоянии может производиться целенаправленно – назовем это управлением, а может спонтанно, например, в результате действия естественных процессов деградации (старения) или импульсного воздействия дестабилизирующих внешних факторов.

Пусть  $S = (\{z/T\} \rightarrow z/Z)$  – произвольный синдром. Ограничим для простоты множество  $Z$  двумя заключениями:  $z_1$  - благоприятное и  $z_2$  – неблагоприятное. Множество значений тестов  $\{z/T\}$  может включать в себя факты, т.е. такие значения тестов, которые по каким – либо причинам изменить нельзя, например, значение теста «Пол». Важной причиной является нехватка ресурсов – финансов, времени, мотивации (энергии) и т.д. Если изучается развитие ситуации после чрезвычайного события или катастрофы, например, инфаркта миокарда, инсульта, рака различной локализации или техногенной катастрофы, то характеристики события (катастрофы) являются фактами.

Если существует синдром, который опирается только на факты, то такой синдром назовем *фатальным*. Наличие фатального синдрома в состоянии приводит к невозможности изменения качества процесса, т.е. заключения. Если фатальных синдромов нет, то управление, переводящее в благоприятный режим, в принципе возможно. Таким образом, перед началом управления необходимо исключить все фатальные синдромы неблагоприятного течения процесса.

Суть синдромного управления, следовательно, состоит, во-первых, в выборе *стратегии* – достижении и закреплении состояния  $z_1$  (в общем случае – некоторого  $z_i$ ), во-вторых, в доказательстве возможности реализации стратегии (исключении фатальных синдромов неблагоприятного течения), в третьих, в выборе *тактики* - целевых синдромов и плана целенаправленного изменения значений тестов, входящих в целевые синдромы, но не являющихся фактами. Синдромное управление обеспечивает либо стабилизацию состояния (для  $z_1$ ), либо устранение нежелательных синдромов и появление желательных, отвечающих  $z_1$ . Само тактическое управление можно представить в виде:

$$U = \{z/T \rightarrow z'/T\}. \quad (2)$$

Синдромное управление существенным образом опирается на синергетический принцип подчинения: достижение параметров порядка  $\{z\}_S$  приведет к автоматическому изменению (подстройке) подчиненных параметров  $\{z'\}$ .

Стратегия стабилизации и закрепления благоприятной эволюции (повышение устойчивости) может заключаться в увеличении числа благоприятных синдромов. Общее число таких синдромов дает синдромная модель знаний в сочетании с методом выделения групп совместимых синдромов (синдром может принадлежать нескольким группам). Подобное увеличение можно интер-

претировать как повышение гарантии благоприятной эволюции. Рассмотрим вопрос поиска совместимых синдромов более подробно.

Совместимость синдромов  $S$  и  $S'$  означает, что у некоторого прецедента  $\alpha$  могут быть одновременно синдромы  $S$  и  $S'$ . Несовместимость синдромов  $S$  и  $S'$  означает, что у любого прецедента  $\alpha$  не могут иметь место одновременно синдромы  $S$  и  $S'$ . Однако, несмотря на кажущуюся простоту понятия «совместимость синдромов», дать формальное определение совместимости достаточно непросто, так как в текущей базе прецедентов могут отсутствовать прецеденты, имеющие одновременно синдромы  $S$  и  $S'$  даже если они совместимы.

Два синдрома назовем *совместимыми*, если в базе прецедентов  $\Omega$  имеется прецедент, содержащий оба синдрома. То же правило относится и к совместимости любого множества синдромов.

Два синдрома  $S(\{\tau/T\}, \underline{z}/Z)$  и  $S(\{\tau/T\}', \underline{z}/Z)$  назовем *условно совместимыми*, если не выполняется условие совместимости, но для любого теста  $\tau$ , принадлежащего одновременно  $\{\tau\}$  и  $\{\tau\}'$ , выполняется хотя бы одно из преобразований:  $\underline{\tau}/T \rightarrow \underline{\tau}/T'$  или  $\underline{\tau}/T' \rightarrow \underline{\tau}/T$ . Ясно, что если домены  $T'$  и  $T$  совпадают, то и значения должны совпадать. Вместе с тем, между доменами  $T'$  и  $T$  может не быть даже отношения доминирования. Если  $\{\tau\} \cap \{\tau\}' = \emptyset$ , то такие синдромы также будем считать условно совместимыми.

Соответственно, произвольное множество синдромов  $\{S\}$  назовем условно совместимым, если для него не выполняется условие совместимости, но для любого теста  $\tau$ , принадлежащего одновременно  $\{\tau\}_S$  и  $\{\tau\}_{S'}$  ( $\{S, S'\} \subseteq \{S\}$ ), выполняется хотя бы одно из преобразований:  $\underline{\tau}/T \rightarrow \underline{\tau}/T'$  или  $\underline{\tau}/T' \rightarrow \underline{\tau}/T$ .

Произвольное множество синдромов назовем *несовместимым*, если оно не является совместимым и не является условно совместимым.

Если база прецедентов отсутствует, а имеется только модель знаний, то к синдромам последней будем применять исключительно понятие «условной совместимости». Приведем пример. Пусть множество синдромов для заключения  $\underline{z}$  представлено таблицей 1.

Таблица 1.

Пример таблицы синдромов

$S \setminus \tau$	$a/A$	$b/B$	$c/C$	$z/Z$
$S_1$	1	6		$\underline{z}$
$S_2$	1		8	$\underline{z}$
$S_3$		9	8	$\underline{z}$
$S_4$	2	10		$\underline{z}$

Условно совместимыми являются только пары синдромов  $\{S_1; S_2\}$  и  $\{S_2; S_3\}$ . Синдром  $S_4$  несовместим ни с одним из других синдромов. Например, синдромы  $S_4$  и  $S_1$  несовместимы потому, что у любого прецедента  $\alpha$  не могут быть одновременно  $a/A?1$  и  $a/A?2$  (по предположению каждый тест входит в описание прецедента только один раз).



Отношения совместимости и условной совместимости между синдромами не являются транзитивными. Действительно,  $S_1$  условно совместим с  $S_2$ ,  $S_2$  условно совместим с  $S_3$ , но  $S_1$  несовместим с  $S_3$ , так как у прецедента не могут быть одновременно  $b/B?6$  и  $b/B?9$ .

Приведем пример из медицины, показывающий, что условная совместимость не всегда влечет за собой реальную совместимость. Некоторые синдромы могут содержать только тесты с «женскими гормонами», но в синдромах будет отсутствовать тест «Пол» из-за избыточности синдрома. Такие синдромы будут вполне условно совместимыми со многими «чисто мужскими синдромами» (по причине не пересечения тестов), хотя в действительности они являются несовместимыми.

Пусть  $\{S\}_j$  – множество всех синдромов, отвечающих заключению  $z_j$  ( $j \in Z$ ). Множество синдромов  $\{S\} \subseteq \{S\}_j$  назовем *предельной группой (условно) совместимых синдромов*, если все синдромы из  $\{S\}$  совместимы или условно совместимы и в  $\{S\}$  нельзя добавить ни один новый синдром из  $\{S\}_j$ . Предельная группа  $\{S\}$  может совпадать с  $\{S\}_j$ .

Ясно, что различных предельных групп (условно) совместимых синдромов для каждого  $j \in Z$  конечное число. Разные предельные группы могут пересекаться между собой. Проиндексируем все предельные группы произвольным образом:  $\{S\}_j^p$ , где  $p = 1, \dots, P_j$ . Можно записать:

$$\forall j \in Z, \quad \{S\}_j = \cup_{p=1, \dots, P_j} \{S\}_j^p \quad (3)$$

Таким образом, предельные группы (условно) совместимых синдромов образуют своеобразное покрытие соответствующего множества  $\{S\}_j$  для  $j \in Z$ .

Для примера из таблицы 1 имеются всего три предельные группы (условно) совместимых синдромов:

$$\{S\}_z = \{S_1; S_2\} \cup \{S_2; S_3\} \cup \{S_4\}.$$

Видно, что синдромы  $S_1$ ,  $S_3$  и  $S_4$  входят в единственную предельную группу, а синдром  $S_2$  входит в две группы.

Для рационального поиска совместимых синдромов важно знать, что у ситуации  $\alpha$  могут быть одновременно все синдромы из любой группы  $\{S\}_j^p$ , а также любое их подмножество и не могут быть одновременно синдромы из разных предельных групп (кроме пересечения).

Пусть к определенному моменту времени для ситуации  $\alpha$  достигнуты целевые синдромы  $\{S\}_\alpha$ . Область поиска новых целевых синдромов (область потенциальной достижимости) ограничена множеством

$$\{S(z_j)\}_\alpha^\perp = \cup_p (\{S\}_j^p \mid \{S\}_\alpha \subseteq \{S\}_j^p) \setminus \{S\}_\alpha. \quad (4)$$

К примеру, для модели из таблицы 1: если  $\{S\}_\alpha = S_1$ , то  $\{S\}_\alpha^\perp = S_2$ ; если  $\{S\}_\alpha = S_2$ , то  $\{S\}_\alpha^\perp = \{S_2; S_3\}$ ; если  $\{S\}_\alpha = S_4$ , то  $\{S\}_\alpha^\perp = \emptyset$ .

Ясно, что среди синдромов  $\{S\}_\alpha^\perp$  могут быть синдромы, которые совместимы с  $\{S\}_\alpha$ . Другими словами, множество  $\{S\}_\alpha^\perp$  представимо в виде

$$\{S\}_\alpha^\perp = \{S\}_{\alpha,1} \cup \{S\}_{\alpha,2} \cup \dots \cup \{S\}_{\alpha,n} \cup \{S\}_{\text{ост}}, \quad (5)$$

где  $\{S\}_{\alpha,i}$  – такие предельные множества, что  $\{S\}_\alpha \cup \{S\}_{\alpha,i}$  совместимы (подобные наборы синдромов имеются у прецедентов из  $\Omega$ );  $\{S\}_{\text{ост}}$  – остаточное множество синдромов, которые не вошли ни в одно множество  $\{S\}_{\alpha,i}$ . В качестве целей управления следует выбирать в первую очередь синдромы из  $\{S\}_{\alpha,i}$  и лишь в последнюю очередь синдромы из  $\{S\}_{\text{ост}}$ , так как нет реального подтверждения их совместимости с  $\{S\}_\alpha$ .

Если увеличить число благоприятных синдромов не удастся, то необходимо стремиться максимально замедлить процесс деградации, т.е. постепенного исчезновения благоприятных синдромов. Неуправляемое изменение состава синдромов происходит в результате естественной эволюции саморазвивающейся сложной системы (ситуации, процесса):  $\{\underline{t}/T \rightarrow \underline{t}''/T\}$ . Стабилизация имеющихся синдромов заключается в стабилизации значения каждого теста (не являющегося фактом) из множества  $\{\underline{t}/T\}_S$  для  $S \in \{S\}_\alpha$ . «Слабыми звеньями» или *критическими звеньями* (элементами) являются те значения тестов  $\underline{t}/T$ , стабилизация которых наиболее проблематична (с точки зрения имеющихся ресурсов и мотивации), следовательно, от их стабилизации и будет зависеть *устойчивость* благоприятного развития процесса (ситуации).

Если текущее состояние процесса неблагоприятное ( $z_2$ ), то необходимо выбрать в качестве цели один из достижимых благоприятных синдромов (если таковые имеются) и реализовать управление  $U$ , т.е. обеспечить целевое изменение значений тестов. Разные достижимые синдромы дают разные варианты (альтернативы) управления. Выбор того или иного варианта – это многокритериальная задача, которая может решаться стандартными средствами. Следует отметить, что достижимость синдрома может существенно зависеть от мотивации того, кто будет осуществлять непосредственное управление, поэтому потенциальная достижимость еще не означает реальной достижимости. Это необходимо учитывать. Следует выбирать такие целевые синдромы, достижимость которых меньше всего зависит от субъективной мотивации.

### 3. Реализация синдромного принципа управления. Среда радикалов

Для повышения эффективности информационно-управляющих систем (ИУС) необходим переход от пассивных ИУС к развивающимся (самоорганизующимся) ИУС, которые способны сохранять и улучшать свои параметры в процессе функционирования путем самообучения и самоорганизации на основе внутренней активности системы. Развивающаяся ИУС должна строиться как система взаимодействующих адаптивных компонентов, обладающих достаточно высоким уровнем автономности, но использующих одну и ту же развивающуюся онтологию предметной области, в частности, Банк тестов  $\{G(\tau)\}$ .

Для построения развивающейся ИУС, которая реализует синдромный принцип управления, предлагается синдромные модели знаний преобразовы-

вать в среду радикалов. Понятие «радикал» было введено для символического моделирования проблемных областей сложных систем [5]. Под *радикалом* понимается любая функциональная система, имеющая два доступных извне состояния: *активное* и *пассивное*. Активный радикал функционирует, согласно своему предназначению, а пассивный радикал нет. Он как бы выключен. Множество радикалов со связями между собой является *средой радикалов*. Вопросами активирования среды радикалов занимаются системы, которые называются *активаторы*. Система всех активных радикалов среды радикалов в данный момент времени образует *системоквант*, который определяет квант поведения среды в этот момент. Интеллектуальная система должна определять такие системокванты поведения сложной системы, которые обеспечивают функциональную устойчивость системы на протяжении всего ее жизненного цикла [5, 12].

Операция ультраоснащения для каждого синдрома создает радикал в виде нейроморфной сети (радикал-синдром) [12]. Таким образом, каждая (предельная) модель знаний порождает соответствующую среду радикалов (в определенном смысле разные среды являются конкурирующими). Активность среды радикалов в процессе решения целевой задачи для нового прецедента зависит от выбранного сценария. Сценарии различаются, в частности, порядком применения некоторых критериев оптимальности, а также допустимой мощностью системоквантов (допустимая мощность - внешний управляющий параметр).

На рис. 2 показана простая программа, автоматически создающая среду радикалов для синдромной модели знаний.

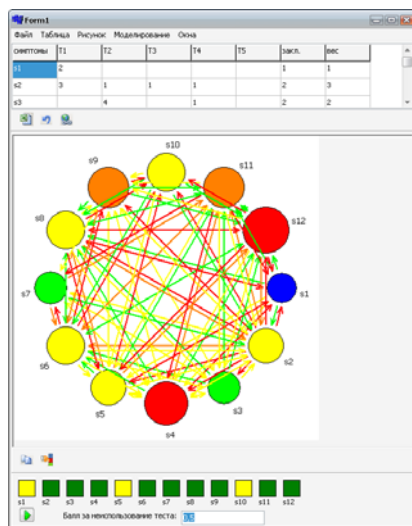


Рис 2. Функционирование среды радикалов

Каждый радикал представлен на рисунке закрашенным кругом. Размер и цвет круга соответствуют его весу. Связь (проводимость) между радикалами отражает степень пересечения множеств тестов, фигурирующих в каждом синдроме. Максимальная проводимость равна «1» (на рисунке связь изображена красным – темным цветом). Чем выше проводимость, тем выше приоритет активации радикала.

Таким образом, искомая среда радикалов строится автоматически на основе заданного множества ситуаций действительности (прецедентов) с известными заключениями (исходами), а также Банка элементарных тестов.

Среда радикалов может использоваться в двух режимах: 1) режим диагностики состояния процесса; 2) режим управления.

В режиме диагностики каждый активный радикал осуществляет поиск значений необходимых тестов. Вначале значения тестов ищутся в рабочей зоне, если там нет значения какого-либо теста, то выводится соответствующий запрос эксперту. Если радикал отработал, но заключение не найдено, то одновременно активизируются все радикалы со связью «1». В совокупности они образуют текущий системоквант, который отображается внизу диалогового окна (линейка радикалов на рис. 2). Среда радикалов может обучаться, первоначально активизируя наиболее результативные в прошлом радикалы. Для обучения среды радикалов создана специальная программа.

В режиме управления задаются целевые синдромы, которые запускают радикалы – цели. Каждый радикал – цель активен до тех пор, пока активен соответствующий целевой синдром. Радикалы-цели можно рассматривать как *центры активации «потребностей»* системы до момента удовлетворения потребностей. Рассогласование текущих значений тестов и целевых значений, которые активизируются радикалами-целями, создает *отрицательные «эмоции»*. Последние являются движущей силой преобразований (целенаправленного поведения). Все остальные радикалы работают в режиме диагностики состояния.

Развивая и расширяя функции поиска значений тестов среда радикалов естественным образом преобразуется в среду когнитивных агентов. В реальных задачах число агентов может достигать нескольких сотен и даже тысяч.

#### 4. Выводы

Предлагаемая технология синдромного управления обеспечивает расширение традиционных подходов к обработке информации в сложных динамических средах, дополняя их новыми методами, моделями и алгоритмами поддержки принятия решений по управлению динамическими ситуациями (объектами, процессами) в сложной обстановке. Реализация синдромных моделей знаний в виде среды радикалов дает ответы на вопросы об устройстве, «созревании» и возможном механизме функционирования памяти.

#### Литература

1. Анохин К.В. Теория функциональных систем и проблема происхождения адаптивной организованности нервной системы // Труды конференции «Нелинейная динамика в когнитивных исследованиях – 2011» (Нижний Новгород, 17 – 19 мая 2011г.). – Н-Новгород: ИПФ РАН, 2011. - С. 6.
2. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Основания синергетики. Синергетическое мировидение. – М.: КомКнига, 2005. – 240 с.

3. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам/ Перевод с англ./ Изд.2/ Синергетика: от прошлого к будущему. – М.: КомКни-га, 2005. – 248 с.
4. Переверзев-Орлов В.С., Трунов В.Г. Синдромный анализ: новые вызовы // Информационные Процессы, Электронный научный журнал, ISSN: 1819-5822, 2008/ - Том 8, №4. - С. 235-239.
5. Чечкин А.В. Радикалы и системокванты интеллектуальных систем // Моделирование функциональных систем / Под ред. К.В. Судакова, В.А. Викторова. М.: ЗАО “РИТ-Экспресс”, 2000. - С. 73–94.
6. Прокопчук Ю.А., Белецкий А.С. Формальные схемы сценариев диагностики проблемных состояний сложных систем // Збірник доповідей науково-практичної конф. «Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика». – Київ: ПІММС НАНУ, 2008. – С. 21- 24.
7. Прокопчук Ю.А. Индуктивная модель описания ситуаций действительности // Збірник наукових праць «Індуктивне моделювання складних систем». – Київ: МННЦ ІТС НАНУ та МОНУ, 2010. - Вып 2. - С. 161 – 173.
8. Прокопчук Ю.А. Автоматизмы когнитивных динамических систем // Искусственный интеллект, 2010. - №4.- С. 34 – 43.
9. Прокопчук Ю.А. Модель динамической интеллектуальной СППР // Збірник наукових праць «Питання прикладної математики і математичного моделювання». – Дн-ск : Вид-во ДНУ, 2010.- С.239 – 251.
10. Прокопчук Ю.А. Методология разработки интеллектуальных приложений на основе принципа предельных обобщений // Вестник Херсонского НТУ, 2011. - №2(41). – С. 32 – 43.
11. Прокопчук Ю.А. Модели структур виртуальной сплошной среды когнитивных динамических систем // Сборник трудов XIII конференции «Нейроинформатика - 2011» (Москва, НИЯУ МИФИ, 24 – 28 января 2011 г.). В 3-х частях. Ч.І. – М.: НИЯУ МИФИ, 2011. - С. 254 – 263.
12. Прокопчук Ю.А., Яровая Т.П. Построение логически прозрачной нейроморфной сети на основе метода предельных обобщений // Збірник наукових праць міжнародної конференції “Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту” (Євпаторія, 16 – 20 травня 2011р.). - Том 1. – Херсон: ХНТУ, 2011. – С. 296 – 300.