

АДАПТАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ ГИБРИДНОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Рассмотрены вопросы адаптации управления в системах гибридного интеллекта. Описано создание функциональных подсистем, выполняющих адаптацию систем к изменяющимся внешним условиям и для достижения желаемых значений интегральных показателей. Также рассмотрено встраивание алгоритмов адаптации непосредственно в процессы системы гибридного интеллекта.

Ключевые слова: система гибридного интеллекта, управление, адаптация управления, внешняя адаптация систем, внутренняя адаптация систем.

ADAPTATION OF MANAGEMENT IN THE SYSTEMS OF HYBRID INTELLIGENCE

The questions adaptation of management in the systems of hybrid intelligence are considered. The creation of functional subsystems which are carrying out adaptation of systems to the changing external conditions and for achievement of desirable values of integrated indicators is described. The embedding of adaptation algorithms directly in the processes of hybrid intelligence system is also considered.

Keywords: hybrid intelligence system, management, adaptation of management, external adaptation of systems, internal adaptation of systems.

Введение. В работе продолжено исследование систем гибридного интеллекта [1–4]. На практике характеристики таких систем сильно зависят как от устройства их компьютерной части, так и от уровня подготовленности входящих в эти системы людей. Рассмотрена задача адаптации систем под меняющиеся внешние условия за счет выбора структуры и логики работы и подбора и обучения участников систем.

Рассмотрено создание функциональных подсистем, выполняющих адаптацию систем гибридного интеллекта к изменяющимся внешним условиям и для достижения желаемых значений интегральных показателей. Такие подсистемы, названные подсистемами адаптации (ПСА), призваны проводить реорганизацию систем в нужном направлении (см. формулы (5) и (6)). ПСА выполняют так называемую внешнюю адаптацию систем гибридного интеллекта.

В работе также рассмотрено встраивание алгоритмов адаптации непосредственно в процессы подсистем управления. Это так называемая

внутренняя адаптация систем гибридного интеллекта.

Виды и способы адаптации систем гибридного интеллекта. Мы рассматриваем класс систем гибридного интеллекта [3], основанных на процессном подходе к управлению. Система гибридного интеллекта этого класса в широком смысле – это человеко-машинная система (или комплекс), реализующая некоторую деятельность и преобразующая поступающие на ее вход объекты в объекты на ее выходе при постоянном воздействии на нее внешней среды и необходимости реагировать на них. Система основана на равноправном сотрудничестве искусственного компьютерного и естественного человеческого интеллектов и процессной организации систем управления. Система гибридного интеллекта в узком смысле понимается нами как система управления человеко-машинным комплексом, основанная на равноправном сотрудничестве искусственного компьютерного и естественного человеческого интеллектов и процессной организации управления.

Адаптация систем гибридного интеллекта выполняется входящими в их состав подсистемами адаптации. Подсистема адаптации может изменять структуру и логику работы системы,

¹ Кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, доцент кафедры телекоммуникационных систем и информационной безопасности АНО ВО «Российский новый университет».

© Бухаров М.Н., 2017.

осуществлять подбор и обучение участников системы, призвана проводить реорганизацию системы гибридного интеллекта в нужном направлении (см. формулы (5) и (6)).

При проектировании и исследовании систем гибридного интеллекта мы используем следующие уровни их представления [5]: 1) уровень черного ящика; 2) уровень функциональной структуры; 3) уровень алгоритмов; 4) уровень программной реализации.

Рассмотрим систему гибридного интеллекта и ее подсистему адаптации на этих уровнях представления.

Уровень черного ящика. Управление в системе гибридного интеллекта реализуется множеством взаимодействующих процессов. Процессы выполняются частично в компьютере, а частично – в коллективе людей (например, сотрудников и контрагентов организации, участвующих в управлении организацией).

Система гибридного интеллекта имеет структуру и логику функционирования. Структура системы гибридного интеллекта задается составом и структурой функциональных подсистем и процессов, а логика – решающими правилами (событиями) для всех состояний всех процессов.

Система гибридного интеллекта имеет интегральные показатели: C_0 – суммарная стоимость обеспечения управления; T_0 – средняя продолжительность основного цикла управления; V_0 – широта области применения (степень охвата входов); P_0 – полезность (степень удовлетворенности выходами); A_0 – адекватность реакции на воздействия внешней среды.

Система гибридного интеллекта математически обозначается как кортеж из трех элементов:

$$D = \langle S, L, P \rangle, \quad (1)$$

где D – система гибридного интеллекта, реализующая некоторую деятельность; S – структура; L – логика; P – интегральные показатели деятельности (C_0, T_0, V_0, P_0, A_0).

Интегральные показатели системы гибридного интеллекта P могут быть определены как элементы векторного функционала от статических характеристик (S и L) и от динамических характеристик (параметров деятельности). В общем случае P определяется по формуле:

$$P = F(S, L, I, O, V, R, K), \quad (2)$$

где F – функционал (отображение множества функций во множество вещественных чисел или во множество векторов из вещественных чисел); I – вектор входных данных деятельности; O – вектор выходных данных; V – вектор воздействий внешней среды; R – вектор реакции на воз-

действие внешней среды; K – вектор внутренних параметров. Все перечисленные выше параметры системы гибридного интеллекта I, O, V, R, K изменяются во времени, то есть являются функциями времени. Поэтому добавим в их обозначение переменную t – значение времени. Формула (2) примет вид:

$$P = F(S, L, I(t), O(t), V(t), R(t), K(t)). \quad (3)$$

Введем понятия преобразования и реорганизации системы гибридного интеллекта. Система D_1 может быть преобразована в систему D_2 путем изменения S и L . При этом интегральные показатели ее работы P в общем случае также изменятся. Если изменения S и L выполняются не произвольно, а по установленным правилам, то будем называть такое преобразование системы гибридного интеллекта – реорганизацией. Правила реорганизации могут охватывать ограничения или установки на изменение структуры S , на изменение логики работы L , а также на изменение интегральных показателей (параметров) работы P .

Обозначим ограничения и/или установки на изменение структуры системы гибридного интеллекта как S^0 , ограничения и установки на изменение логики ее работы как L^0 , а ограничения и установки на изменение интегральных показателей работы системы как P^0 . Тогда преобразование системы гибридного интеллекта D_1 в систему гибридного интеллекта D_2 можно записать как:

$$D_2 = T(D_1), \quad (4)$$

а реорганизацию системы гибридного интеллекта D_1 в систему гибридного интеллекта D_2 – как преобразование системы D_1 в систему D_2 при заданных ограничениях:

$$D_2 = T(D_1, S^0, L^0, P^0). \quad (5)$$

В формуле (5) ограничения и/или установки могут представлять собой задание нескольких возможных вариантов на изменение: 1) структуры системы гибридного интеллекта S^0 (структуры системы, каждой из ее функциональных подсистем, каждого процесса, каждого функционального модуля); 2) логики работы системы L^0 (каждого состояния всех процессов для всех возможных вариантов структуры, определяемых ограничениями S^0); 3) интегральных показателей работы P^0 (формул для расчета каждого параметра, ограничений на значения или на тенденцию и темпы изменения во времени каждого параметра для всех возможных вариантов структуры и логики работы системы гибридного интеллекта, определяемых ограничениями S^0 и L^0).

Варьируя ограничения на статические характеристики (S^0 и L^0) и на динамические характеристики ($I(t)$, $O(t)$, $V(t)$, $R(t)$, $K(t)$ – см. формулу (3)), можно строить системы гибридного интеллекта, удовлетворяющие определенным требованиям. Требования к разрабатываемой системе гибридного интеллекта задаются ограничениями и/или установками на изменение интегральных показателей ее работы P^0 .

Адаптация – это непрерывная (обычно периодическая) реорганизация системы (см. формулу (5)), при которой интегральные показатели P удовлетворяют определенному критерию. Обычно этот критерий задается формулой:

$$\varepsilon_1 \leq \Phi(P) \leq \varepsilon_2, \quad (6)$$

где $\Phi(P)$ – критерий адаптации; $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – нижняя и верхняя границы изменения критерия адаптации. Критерий адаптации $\Phi(P)$ – это функция от интегральных показателей P .

Реорганизация системы гибридного интеллекта в общем случае предполагает изменение структуры системы, включая замену участников системы, и изменение логики работы системы. Поскольку произвольные изменения системы гибридного интеллекта могут привести к ее неработоспособности, то изменения выбираются из заранее подготовленного множества структур, участников и вариантов состояний всех процессов. Информация о них хранится в многомерной базе данных адаптации. Вариант системы для текущих внешних условий выбирается из этой базы данных. Логика работы системы при переходе к новому варианту структуры системы гибридного интеллекта в общем случае также изменится. Возможны варианты изменения логики работы без изменения структуры системы.

Все возможные варианты реорганизации системы гибридного интеллекта должны быть тщательно проверены и исследованы и только после этого занесены в многомерную базу данных адаптации. Изменение структуры системы, замена участников системы, изменение логики работы системы выполняются подсистемой адаптации. Подсистема адаптации имеет доступ через базу данных адаптации ко всем вариантам реорганизации системы. Она обладает средствами мониторинга внешних условий, в ней реализованы алгоритмы анализа внешних условий и алгоритмы принятия решений.

Подготовка, проверка и исследование типовых вариантов реорганизации систем и размещение информации о них в многомерной базе данных адаптации выполняется специалистами по проектированию и совершенствованию систем гибридного интеллекта.

Другой вид адаптации системы гибридного интеллекта – это использование адаптивных алгоритмов при построении процессов. Для реализации адаптивных алгоритмов в процессах выделяют три вида состояний: состояния для мониторинга параметров системы; состояния принятия решений и состояния для реализации альтернативных вариантов работы системы гибридного интеллекта.

Схема адаптации этого вида следующая:

1) в каждом процессе имеется несколько альтернативных вариантов всех основных состояний;

2) при выполнении процессов осуществляется анализ текущих параметров работы системы, и в зависимости от значения этих параметров осуществляются переходы процессов в соответствующие варианты состояний.

На практике при сильных изменениях внешних условий используется первый тип адаптации – выбор альтернативных вариантов структуры, логики и участников системы гибридного интеллекта. Для тонкой настройки системы управления используется второй тип адаптации – использование адаптивных алгоритмов. Первый тип адаптации логично назвать внешней адаптацией, а второй – внутренней адаптацией систем гибридного интеллекта.

Уровень функциональной структуры. Система гибридного интеллекта состоит из подсистемы управления и функциональных подсистем. Каждая функциональная подсистема может иметь сложную иерархическую структуру (см. рис. 1) и сама состоять из подсистемы управления и нескольких функциональных подсистем, которые, в свою очередь, состоят из подсистемы управления и нескольких функциональных подсистем, и т.д.

Математическое описание функциональной структуры системы гибридного интеллекта может быть получено конкретизацией математического описания системы гибридного интеллекта как черного ящика, $D = \langle S, L, P \rangle$.

Структура системы гибридного интеллекта S имеет четыре уровня:

$$S = \langle S_1, S_2, S_3, S_4 \rangle, \quad (7)$$

где S_1 – библиотеки готовых программ, реализующие исполнительную среду для работы системы; S_2 – состояния процессов, аккумулирующих логику работы системы; S_3 – совокупность взаимодействующих процессов; S_4 – функциональные подсистемы, реализующие стратегию и тактику управления.

Обозначим библиотеки готовых программ, реализующие исполнительную среду для рабо-

ты системы гибридного интеллекта, $S_1 = \{d_i\}$, где d_i – i -я библиотека готовых программ; состояния процессов, аккумулирующих логику работы системы гибридного интеллекта, $S_2 = \{\tau_{i,j}\}$, где $\tau_{i,j}$ – состояние i процесса j ; совокупность взаимодействующих процессов, $S_3 = \{p_{n,m}\}$, где $p_{n,m}$ – процесс m функциональной подсистемы n ; функциональные подсистемы, $S_4 = \{s_i\}$, где s_i – функциональная подсистема i .

Функциональная подсистема в общем случае имеет сложную иерархическую структуру (см.

рис. 1). На k -м уровне i -я функциональная подсистема $s_{k,i}$ включает подсистему управления, состоящую из нескольких процессов $\{p_{i,j}\}$, нескольких функциональных подсистем $\{s_{i,j}\}$ и нескольких функциональных модулей $\{f_{i,j}\}$:

$$s_{k,i} = \langle \{p_{i,j}\}, \{s_{i,j}\}, \{f_{i,j}\} \rangle, \quad (8)$$

где $p_{i,j}$ – j -й процесс i -й функциональной подсистемы; $s_{i,j}$ – j -я функциональная подсистема в составе i -й функциональной подсистемы; $f_{i,j}$ – j -й функциональный модуль i -й функциональной подсистемы.

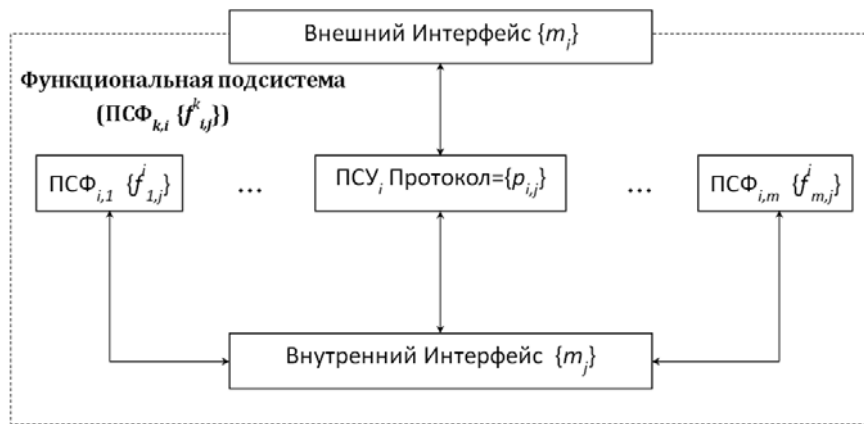


Рис. 1. Функциональная подсистема СГИ

Примечание: СГИ – система гибридного интеллекта; ПСФ $_{k,i}$ – функциональная подсистема i в ПСФ $_{n,k}$; ПСУ $_i$ – подсистема управления в ПСФ $_{k,i}$; $p_{i,j}$ – процесс j в ПСУ $_i$; m_i – сообщение i ; $f_{m,j}^i$ – функциональный модуль j в ПСФ $_{i,m}$

Функциональная подсистема может быть автоматизированным рабочим местом участника деятельности. В этом случае сам участник деятельности (сотрудник или контрагент) также является частью функциональной подсистемы (одним из ее функциональных модулей).

Подсистема управления реализует протокол взаимодействия функциональных подсистем одного уровня с помощью множества процессов. Процессы обмениваются сообщениями с функциональными подсистемами через внутренний интерфейс.

Подсистема управления получает задания от внешней функциональной подсистемы и отправляет ответы через внешний интерфейс. Регламенты этого вертикального взаимодействия функциональных подсистем реализуются процессами подсистем управления смежных по вертикали уровней.

Таким образом, более детально, на уровне k каждая i -я функциональная подсистема $s_{k,i}$ представляется как кортеж из подсистемы управления (множество процессов $\{p_{i,j_p}\}$), нескольких

функциональных подсистем следующего нижнего уровня $\{s_{i,j_s}\}$, внутреннего $\{m_{i,j_1}\}$ и внешнего $\{m_{i,j_2}\}$ интерфейсов, множества функциональных модулей $\{f_{i,j_f}\}$:

$$s_{k,i} = \langle \{p_{i,j_p}\}, \{s_{i,j_s}\}, \{m_{i,j_1}\}, \{m_{i,j_2}\}, \{f_{i,j_f}\} \rangle. \quad (9)$$

Внутренний интерфейс $\{m_{i,j_1}\}$ подсистемы $s_{k,i}$ является в то же время внешним интерфейсом для функциональных подсистем следующего нижнего уровня $\{s_{i,j_s}\}$ и т.д.

Внешняя адаптация – это непрерывная (обычно периодическая) реорганизация системы (см. формулу (5)) в соответствии с критерием адаптации (см. формулу (6)). Реорганизация системы выполняется подсистемой адаптации с использованием многомерной базы данных адаптации, состоящей из нескольких возможных вариантов на изменение: 1) структуры системы гибридного интеллекта S^0 (структуры системы, каждой из ее функциональных подсистем, каждого процесса, каждого функционального модуля); 2) логики работы системы L^0 (каждого состояния всех процессов для всех возможных

вариантов структуры, определяемых ограничениями S^0); 3) интегральных показателей работы P^0 (формул для расчета каждого параметра, ограничений на значения или на тенденцию и темпы изменения во времени каждого параметра для всех возможных вариантов структуры и логики работы системы гибридного интеллекта, определяемых ограничениями S^0 и L^0).

Изменение структуры системы предполагает в общем случае и изменение (обучение или замену) участников системы (они рассматриваются как функциональные модули). Конкретный вариант системы гибридного интеллекта для применения в текущих внешних условиях выбирается из базы данных адаптации. Поскольку база данных адаптации является многомерной и число измерений обычно больше двух, то доступ к данным осуществляется через так называемые двумерные срезы – обычные таблицы. В таблице 1 приведен пример множества вариантов системы управления состоянием окружающей среды предприятия, из которого осуществляется выбор в зависимости от изменения внешних условий.

Для создания многомерной базы данных адаптации необходимо провести большую работу по созданию, проверке и исследованию типовых систем, функциональных подсистем, функциональных модулей и различных вариантов реализации конкретных систем. Для выполнения на практике внешней адаптации в системе гибридного интеллекта создается специальная функциональная подсистема – подсистема адаптации (ПСА). ПСА выполняет мониторинг параметров системы, принятие решений о проведении реорганизации системы, выбор варианта системы, переход от текущего варианта системы к выбранному варианту.

Более детально:

1) имеется N вариантов реализации конкретной системы гибридного интеллекта $\{D_i\}, i = 1, 2, 3, \dots, N$; варианты системы гибридного интеллекта являются результатом реорганизации системы в соответствии с формулой (5); другими словами, множество вариантов системы – это история ее существования или результат работы экспертов, или и то и другое вместе;

2) каждый вариант системы $D \in \{D_i\}, i = 1, 2, 3, \dots, N$, при данных внешних условиях, задаваемых вектором воздействий внешней среды V на систему; будет иметь конкретный набор интегральных показателей P ;

3) адаптация – это выбор такого варианта системы $D_x \in \{D_i\}, i = 1, 2, 3, \dots, N$, при котором при данных внешних условиях справедлива формула (6);

4) в соответствии с формулой (3), вектор $P = F(S, L, I(t), O(t), V(t), R(t), K(t))$, где F – функционал (отображение множества функций во множество вещественных чисел или во множество векторов из вещественных чисел); I – вектор входных данных деятельности; O – вектор выходных данных; V – вектор воздействий внешней среды; R – вектор реакции на воздействие внешней среды; K – вектор внутренних параметров;

5) при выборе варианта системы $D \in \{D_i\}, i = 1, 2, 3, \dots, N$ нам известна следующая информация: I – вектор входных данных; O – вектор выходных данных; V – вектор воздействий внешней среды; R – вектор реакции на воздействие внешней среды; и частично информация о K – векторе внутренних параметров;

6) на каждом шаге адаптации мы должны сделать выбор ячейки в многомерном кубе (см. пример трехмерного куба на рис. 2), измерения которого – это I – вектор входных данных деятельности; O – вектор выходных данных; V – вектор воздействий внешней среды; R – вектор реакции на воздействие внешней среды; K – вектор внутренних параметров; ячейка этого многомерного куба – это вектор со следующими данными: значение функции $\Phi(P)$ из формулы (6) при данных значениях измерений куба, краткое описание варианта системы и подробная техническая документация о варианте системы;

7) в соответствии с формулой (1) $D = \langle S, L, P \rangle$, информация о триаде S, L, P и содержится в ячейке куба.

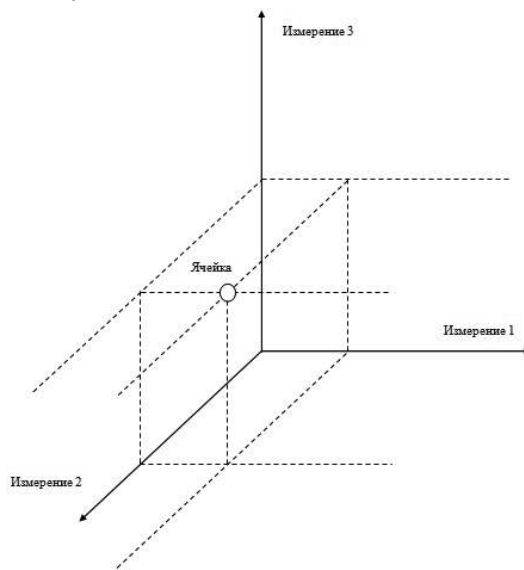


Рис. 2. Многомерный куб (три измерения)

Таким образом, на каждом шаге адаптации необходимо найти значение таблично заданной функции:

$D = \langle S, L, P \rangle = F^*(I(t), O(t), V(t), R(t), K(t)),$ (10)
 где F^* – таблично заданная функция (многомерный куб).

Внутренняя адаптация системы гибридного интеллекта выполняется адаптивными процессами подсистем управления системы, которые периодически делают оценку значений параметров системы и выбирают альтернативные варианты реализации состояний процессов. Более детально:

- 1) функциональная подсистема i имеет множество процессов $\{p_{i,j_p}\}$;
- 2) в каждом процессе p_{i,j_p} имеется несколько альтернативных вариантов всех основных состояний $\{\tau_{i,j_p,j_a}\}$;
- 3) при выполнении процессов осуществляется анализ текущих параметров работы системы $\{K_i\}$ и в зависимости от значения этих параметров (например, если $X^{(j_a)}_i \leq K_i \leq Y^{(j_a)}_i$) осуществляются переходы процессов в соответствующие варианты состояний $\{\tau_{i,j_p,j_a}\}$.

Уровень алгоритмов. Система гибридного интеллекта включает следующие алгоритмы [3]:

- 1) алгоритм работы системы исполнения процессов;
- 2) алгоритм работы системы исполнения функциональных подсистем;
- 3) алгоритм взаимодействия (интерфейса) с человеком в функциональных подсистемах, в состав которых входят в качестве функциональных модулей носители естественного человеческого интеллекта (например, сотрудники и контрагенты организации и др. специалисты);
- 4) алгоритм включения (интеграции) функциональных модулей в функциональные подсистемы;
- 5) алгоритмы функциональных модулей, реализующих нейронные сети, скоринговые модели, нечеткие множества и др. функции.

Для реализации адаптации управления нами дополнительно разработаны:

- 6) алгоритмы управления многомерной базой данных адаптации;
- 7) алгоритмы внешней адаптации;
- 8) алгоритмы внутренней адаптации.

Дадим краткое описание разработанных алгоритмов адаптации.

Внешняя адаптация – это непрерывная (обычно периодическая) реорганизация системы (см. формулу (5)) в соответствии со значением критерия адаптации (см. формулу (6)).

Для выполнения внешней адаптации нами разработаны следующие алгоритмы.

1. Алгоритмы управления многомерной базой данных адаптации.

2. Алгоритмы моделирования внешних условий для проверки и отладки типовых вариантов систем, функциональных подсистем и функциональных модулей.

3. Алгоритмы моделирования работы типовых вариантов систем, функциональных подсистем и функциональных модулей для проверки, отладки и заполнения многомерной базы данных адаптации.

4. Алгоритмы выбора варианта структуры системы путем моделирования заданных внешних условий и моделирования работы типовых вариантов систем, функциональных подсистем и функциональных модулей в этих внешних условиях.

Изменение структуры системы, замена участников системы, изменение логики работы системы выполняются подсистемой адаптации. Подсистема адаптации использует в своей работе перечисленные алгоритмы.

Алгоритмы управления многомерной базой данных адаптации включают:

- 1) алгоритмы создания многомерного куба на основе набора реляционных таблиц;
- 2) алгоритм получения срезов с меньшим числом измерений (обычно используются двухмерные срезы – таблицы);
- 3) алгоритмы просмотра срезов;
- 4) алгоритмы размещения информации в базе данных адаптации;
- 5) алгоритмы коррекции (изменения) информации в базе данных адаптации.

При реализации внутренней адаптации используются следующие алгоритмы:

- 1) алгоритмы оценки значений параметров системы;
- 2) алгоритмы принятия решений;
- 3) алгоритмы выбора подходящего варианта из нескольких альтернативных вариантов реализации состояния процесса;
- 4) алгоритмы альтернативных вариантов состояний процессов.

Уровень программной реализации. Программная реализация системы гибридного интеллекта состоит из двух основных частей [5]:

1) инструментальных программ для подготовки и трансляции описаний системы гибридного интеллекта в программные коды для компьютера и во внутреннее представление для систем исполнения процессов и функциональных подсистем;

2) программ исполнения для реализации подсистем управления (программ для исполнения процессов) и функциональных подсистем (программ получения и исполнения команд от внеш-

ней функциональной подсистемы, программ для подключения (интеграции) и исполнения функциональных модулей и программ для взаимодействия (интерфейса) с человеком).

Для выполнения внешней адаптации нами разработаны следующие программы.

1. Пакет программ управления многомерной базой данных адаптации.

2. Пакеты программ для моделирования внешних условий с целью проверки и отладки типовых вариантов систем, функциональных подсистем и функциональных модулей.

3. Программа моделирования работы типовых вариантов систем, функциональных подсистем и функциональных модулей для проверки, отладки и заполнения многомерной базы данных адаптации.

4. Пакеты программ для выбора подходящих вариантов структуры системы путем моделирования работы вариантов системы на моделях заданных внешних условий.

Пакет программ управления многомерной базой данных адаптации включает следующие программы:

1) программу создания многомерного куба на основе набора реляционных таблиц;

2) программу получения срезов с меньшим числом измерений (обычно используются двухмерные срезы – таблицы);

3) программы просмотра срезов;

4) программы размещения информации в базе данных адаптации;

5) программы коррекции (изменения) информации в базе данных адаптации.

Изменение структуры системы, замена участников системы, изменение логики работы системы выполняются подсистемой адаптации. Подсистема адаптации использует в своей работе перечисленные программы и пакеты программ.

При реализации внутренней адаптации используются следующие программы:

1) программа исполнения процессов;

2) программы оценки значений параметров системы;

3) программы принятия решений;

4) программы выбора подходящего варианта из нескольких альтернативных вариантов реализации состояния процесса.

Проектирование адаптивных систем гибридного интеллекта. Проектирование системы гибридного интеллекта выполняется в несколько этапов [4].

1. Разработка концептуальной модели предметной области.

2. Выявление и описание прецедентов участия в деятельности.

3. Структурирование деятельности на деловые процессы.

4. Проектирование функциональных подсистем.

5. Создание диаграмм взаимодействия (протоколов и интерфейсов) функциональных подсистем и процессов.

В проектируемой системе в соответствии с нашей методологией выделяют структуру ее основных частей, проводящиеся в ней работы (проекты) и имеющиеся в ней процессы и объекты – (актеры и документы). Затем осуществляется проектирование и документирование всех процессов и объектов. Кроме этого необходимо выделить правила, в соответствии с которыми происходит смена состояний процессов и статусов объектов. Эти правила вместе с описаниями процессов и объектов составят базу знаний о работе создаваемой системы гибридного интеллекта.

В результате проектирования будет получена хорошо описанная и документированная модель работы системы гибридного интеллекта. Эта модель представлена следующими документами: описание системы и ее функциональных подсистем; описания процессов; описания актеров и документов; правила в форме продукций или событий; описания реализации актеров и документов в виде программных объектов (функциональных модулей и интерфейсов для работы сотрудников).

Для обеспечения возможности внешней адаптации проектируемой системы гибридного интеллекта в нее включают типовую подсистему адаптации, состоящую из базы данных адаптации в виде многомерного куба, программ для работы с этим кубом и процессов, выполняющих оценку текущего состояния системы гибридного интеллекта и выбора нового варианта системы гибридного интеллекта.

Для обеспечения внутренней адаптации при проектировании всех процессов в них добавляют альтернативные варианты всех основных состояний и состояния для проверки текущих параметров и в зависимости от значений параметров выбора нужных состояний из числа альтернативных.

Пример внешней адаптации системы гибридного интеллекта. Рассмотрим в качестве примера окружающую среду некоторого промышленного предприятия. Основу системы управления состоянием окружающей среды предприятия составляет система мониторинга. Система мониторинга включает в себя че-

тыре подсистемы: «Наблюдения и измерения», «Оценка фактического состояния», «Прогноз состояния», «Оценка прогнозируемого состояния». В настоящее время важную роль для предприятия играет система экологического менеджмента (система управления качеством окружающей среды). На рис. 3 показаны подсистемы системы мониторинга загрязнения среды и связи между ними. Подсистемы «Наблюдения и измерения» и «Прогноз состояния» тесно связаны между собой, поскольку прогноз состояния окружающей среды невозможен без наличия достаточной информации о загрязнении и источниках поступления загрязняющих веществ.

Управление окружающей средой предприятия заключается в воздействии на экологические объекты таким образом, чтобы характеристики качества среды приближались к эталону. Цели такой системы управления:

- 1) поддержание состояния окружающей среды на некотором заранее заданном уровне;
- 2) создание экологической обстановки, способствующей улучшению здоровья.

Построим систему гибридного интеллекта для управления обеспечением качества окружающей среды предприятия.



Рис. 3. Схема управления качеством окружающей среды предприятия

База данных адаптации для этой системы является многомерным кубом со следующими измерениями.

Измерение 1. Уровень загрязнения воздуха (низкий, средний, высокий).

Измерение 2. Уровень загрязнения воды (низкий, средний, высокий).

Измерение 3. Уровень загрязнения почвы (низкий, средний, высокий).

Измерение 4. Адекватность реакции на изменение параметров внешней среды (низкая, средняя, высокая).

Измерение 5. Стоимость обеспечения работы системы (низкая, средняя, высокая).

Измерение 6. Уровень инфляции (низкий (3, 4, 5), средний (7, 10, 12), высокий (15, 20, 25)) и др.

Измерения могут содержать несколько вложенных шкал. Например, для **Измерения 6. Уровень инфляции** могут использоваться две шкалы: (низкий (3, 4, 5), средний (7, 10, 12), высокий (15, 20, 25)).

В ячейках куба содержится следующая информация.

1. Характеристики варианта системы.
2. Описание варианта системы.
3. Ссылка на дистрибутив варианта системы.

На рис. 2 схематично изображен многомерный куб с тремя измерениями.

Подсистема адаптации осуществляет мониторинг ключевых показателей работы системы и основных параметров внешних условий и периодически принимает решение о необходимости проведения реорганизации системы (см. формулы (5) и (6)). В случае если решение о необходимости проведения реорганизации принято, то подсистема адаптации запускает следующие процессы:

- 1) процесс выбора подходящих вариантов системы в многомерной базе данных адаптации;
- 2) процесс принятия решения о переходе на конкретный вариант системы из числа отобранных;
- 3) процесс развертывания выбранного варианта системы;
- 4) процесс переноса данных из текущего варианта системы в новый развернутый вариант системы;
- 5) процесс настройки нового варианта системы;
- 6) процесс переключения на новый вариант системы;
- 7) процесс останова и архивации старого варианта системы.

Для работы с многомерным кубом используются специальные программы, позволяющие делать двумерные срезы, отбирать и фильтровать данные по различным критериям и отображать их на экране компьютера. На рис. 4 изображено главное окно одной из таких программ. В этом окне одновременно можно просматривать один или сразу несколько срезов с данными из многомерного куба. Пустые ячейки означают, что данных для этих условий в многомерном кубе пока нет. Заполнение многомерного куба данными – сложная и ответственная работа. Ею занимаются на этапе построения разработчики системы, а затем сами участники системы непрерывно совершенствуют и проводят периодическую актуализацию подсистемы адаптации.

Уровень инфляции	низкий		
Функции $\Phi(P)$	% инфляции		
Вариант СГИ	3	4	5
Вариант 2	2,9	1,9	
Вариант 3	2,2	1,3	2,5
Вариант 4	2,6	1,9	
Вариант 6	1,6		2,8
	1,5	$< \Phi(P) <$	2,5

Рис. 4. Главное окно программы для работы с многомерным кубом

Для иллюстрации рассмотрим двумерный срез базы данных адаптации. В таблице 1 приведен пример множества структур системы, из которого осуществляется выбор в зависимости от изменения внешних условий.

При изменении внешних условий, например при повышении уровня инфляции с 5% в год до 12% в год, необходимо перейти от варианта структуры № 2 к варианту структуры № 1. При таком переходе будут затрачены некоторые средства и время. Это средства, затрачиваемые на обучение сотрудников для работы с новым вариантом системы или на замену одних сотрудников на других. Также ежегодно будет тратиться на поддержание использования нового варианта системы дополнительно 10 000 000 руб. – 1 000 000 руб. = 9 900 000 руб. в год. При этом интегральные показатели системы изменятся с P_2 на P_1 .

Таблица 1

Варианты структуры системы

№ п/п	Внешние условия	Стоимость использования	Интегральные показатели
1.	Инфляция выше 10% в год	10 000 000 руб. в год	P_1
2.	Инфляция 4–10% в год	1 000 000 руб. в год	P_2
...
6.	Инфляция 0% в год	100 000 руб. в год	P_N

Пример внутренней адаптации системы гибридного интеллекта. Продолжим рассмотрение системы гибридного интеллекта для управления обеспечением качества окружающей среды предприятия.

Пусть в системе гибридного интеллекта используются два способа обеспечения качества воздуха: 1) штрафные санкции, накладываемые

на предприятие за выбросы в атмосферу загрязняющих веществ большого объема; 2) снятие премиальных с руководителей предприятия за выбросы в атмосферу загрязняющих веществ небольшого или среднего объема.

Критерием адаптации может в данном случае служить суммарный объем вредных выбросов за месяц:

$$V = \sum_{i=1}^n v_i, \quad (11)$$

где v_i – объемы вредных выбросов; n – число вредных выбросов за месяц.

Обозначим:

X – заданный предельно допустимый суммарный объем вредных выбросов за месяц;

Y – заданный суммарный объем вредных выбросов за месяц, ведущий к снятию премиальных с руководителей предприятия;

Z – заданный суммарный объем вредных выбросов за месяц, ведущий к наложению штрафных санкций на предприятие.

Алгоритм внутренней адаптации может быть следующим:

1) измерение и подсчет суммарного объема вредных выбросов в месяц V по формуле (11);

2) проверка условия $V \leq X$;

3) если условие выполнено, то переход к пункту 1;

4) проверка условия $X < V \leq Y$;

5) если условие выполнено, то применение первого варианта штрафных санкций – снятие премиальных с руководителей предприятия и переход к пункту 1;

6) проверка условия $Y < V \leq Z$;

7) если условие выполнено, то применение второго варианта штрафных санкций – наложение штрафных санкций на предприятие и переход к пункту 1;

8) возбуждение судебного разбирательства и переход к пункту 1.

В обозначениях состояний процессов и реализуемых ими алгоритмов управления процесс внутренней адаптации можно записать следующим образом:

$$x_0, x_1(x_2 : u_1, x_3 : u_2, x_4 : u_3), x_0, x_1(x_2 : u_1, x_3 : \rightarrow u_2, x_4 : u_3), \dots, x_0, x_1(x_2 : u_1, x_3 : u_2, x_4 : u_3), \quad (12)$$

где x_0 – состояние измерения и подсчета суммарного объема вредных выбросов в месяц; x_1 – состояние проверки критерия адаптации; x_2 – состояние применения первого варианта штрафных санкций – реализация алгоритма управления u_1 ; x_3 – состояние применения второго варианта штрафных санкций – реализация

алгоритма управления u_2 ; x_4 – состояние применения третьего варианта штрафных санкций – реализация алгоритма управления u_3 ; запись $a(b, c, d)$ обозначает проверку сложного условия “ a ” и выполнение “ b ”, если выполнена первая часть условия, – “ c ”, если выполнена вторая часть условия, – “ d ”, если выполнена третья часть условия, $x_i : u_j$ – означает: процесс находится в состоянии x_i , которое реализует алгоритм управления u_j .

Заключение. В работе рассмотрены два типа адаптации систем гибридного интеллекта: внешняя и внутренняя. На практике при сильных изменениях внешних условий используется первый тип адаптации – выбор альтернативных вариантов структуры, логики и участников деятельности. Для тонкой настройки системы используется второй тип адаптации – использование в процессах адаптивных алгоритмов.

Информацию о теории систем гибридного интеллекта и ее применениях в различных областях можно найти на сайтах:

<http://www.iicenter.ru> – ассоциации независимых консультантов в области наукоемких технологий «Интеллект Инвест Центр»;

<http://www.oberon.iicenter.ru> – научно-исследовательской группы «Оберон»;

<http://www.kbfccenter.iicenter.ru> – портала дистанционного обучения «Независимый центр знаний».

Литература

1. Венда В.Ф. Системы гибридного интеллекта. Эволюция, психология, информатика / В.Ф. Венда. – М. : Машиностроение. – 1990. – 448 с.

2. Бухаров М.Н. Системы гибридного интеллекта / М.Н. Бухаров. – М. : Научтехлитиздат, 2005. – 352 с. (ил).

3. Бухаров М.Н. Теория систем гибридного интеллекта. Проектирование, стандартизация, моделирование и оптимизация : монография / М.Н. Бухаров. – М. : ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. – 214 с. (ил).

4. Бухаров М.Н. Технология создания систем гибридного интеллекта на основе программного комплекса «Оберон-3000» / М.Н. Бухаров // Экологические системы и приборы. – 2005. – № 3. – С. 31–37.

5. Бухаров М.Н. Управление сложными системами на основе гибридного интеллекта / М.Н. Бухаров // Спецтехника и связь. – 2015. – № 03. – С. 119–140.