

О проблеме интеллектуализации интегрированных систем информационной поддержки решения задач в области СВТ

The paper proposes an approach to architectural and structural arrangement of an information support system. The principles of construction of multiagent system are used.

Статья ставит целью дать описание архитектуры и устройства информационных поддерживающих систем. Используются принципы конструкции многокомпозиционных систем.

Введение

Известные системы информационной поддержки (СИП), именуемые чаще всего как информационно-справочные системы, позволяют из массива данных, размещенного в базе данных, лишь отобрать и получить информацию, структурированную во времени и в пространстве в соответствии с запросом пользователя, тем самым освобождая его от рутинной работы по просмотру и анализу большого количества данных.

Несмотря на то, что системы такого типа различаются уровнем человеко-машинного интерфейса, структурой и методами управления базами данных, организацией непосредственно самих баз данных и их содержательным наполнением, все они (как информационно-справочные системы) являются пассивными по отношению к пользователю, не предоставляя ему логических выводов, рекомендаций и проектов каких-либо решений, т. е. не предоставляя новых знаний, полученных на основе имеющихся.

Результативность применения таких систем при решении задач в конкретной предметной области так или иначе зависит от уровня профессиональной подготовки пользователя, поскольку именно он анализирует полученную от СИП информацию, делает логические выводы и принимает решения. Сфера применения таких систем значительно уже, чем хотелось бы.

Экспертные же системы, системы принятия решений, системы формирования и обработки знаний (машины базы знаний) и другие автоматизированные системы с высоким уровнем машинного интеллекта, как правило, ориентированы на конкретную предметную область, или на конкретного пользователя, или на конкретную задачу. По своим принципам построения и эксплуатации универсальные системы такого типа являются весьма сложными и поэтому для массового применения также мало пригодны.

Исходные посылки интеллектуализации СИП

Исследования в области архитектурно-структурной организации систем предлагаемого типа показали, что приведенные выше положения организации массового СИП хорошо коррелируют с концепцией построения много-агентных систем (МАС) – одного из наиболее перспективных направлений развития распределенных компьютерных систем с высоким уровнем искусственного интеллекта.

При этом предполагается, что архитектурно-структурная организация СИП массового применения должна сочетать в себе положительные качества информационно-справочных систем, экспертных систем и многоагентных систем, в совокупности обеспечивая новые качественные признаки: адаптивность под уровень знаний (профессиональную квалификацию пользователя), возможность получения пользователем от СИП аргументированной аналитической информации для обоснованного принятия решений и другие.

Ниже предлагается один из подходов к архитектурно-структурной организации СИП такого типа, которая ориентирована на решение важной задачи установления «баланса» оптимизирующей закупку зарубежных и создание отечественных СВТ. В табл.1 отражен набор типовых макропроцедур решения задачи «баланса» [1], который на рис.1 представлен в виде схемы, отображающей во взаимосвязи три подзадачи: выбор готового изделия СВТ из имеющихся на рынке; комплексирование сложного изделия СВТ из компонентов, представленных на рынке; выбор конкурсного проекта по созданию отечественных СВТ.

Анализ табл. 1 и рис. 1 показывает, что реализация более 70% процедур должна быть возложена на пользователя (эксперта), который обязан быть профессионально подготовленным, чтобы грамотно принимать решения на соответствующих шагах диалогового режима. К процедурам, которые от эксперта могут быть перенесены на алгоритмическую реализацию в нашей СИП, могут быть отнесены следующие (согласно табл. 1): 4, 10, 12, 15, 19, 21, 27, 28, 30, 32, 34, 36 и 39 и др., что увеличивает долю реализации автоматизированных процедур с 30% до 61%, т.е. более чем в 2 раза. Большинство указанных процедур связано с выполнением операций сравнения и выбора конкретных параметров или событий, что возможно лишь при применении соответствующих алгоритмов, которые условно назовем алгоритмами «деловой логики».

Под алгоритмом «деловой логики» (АДЛ) применительно к СИП будем понимать заведомо определенную, логически связанную последовательность действий (процедур), включая процедуры человеко-машинного взаимодействия, отображающие процесс решения конкретной задачи (или ее фрагмента) с использованием соответствующих средств аппаратно-программной поддержки в составе СИП. С этой точки зрения наиболее привлекательным направлением архитектурной организации СИП является направление, определяемое концепцией построения многоагентных систем (МАС).

Не останавливаясь подробно на описании такой концепции, основные положения которой изложены в литературе (например, в обзорной [2]), выделим лишь некоторые характерные свойства МАС, реализация которых с помощью АДЛ наделяет ее новыми качественными признаками, так как:

- АДЛ разрабатывается, как правило, высококвалифицированным специалистом, знания которого так или иначе используются неквалифицированным в области программирования пользователем, предоставляя тем самым возможность повышать свою квалификацию;
- АДЛ автоматизирует рутинные, часто повторяющиеся процедуры, как бы поддерживая тем самым функции интеллектуального агента (ИА) – «подглядывания из-за плеча пользователя» и выработки предложений автоматизировать эти процедуры;
- наличие АДЛ, выполняющих конкретные макропроцедуры (например, табл.1) в автоматическом (а не в диалоговом) режиме, позволяет при изменении исходных данных такого АДЛ получать пользователю набор результатов выполнения этой процедуры, что обеспечивает возможность реализовывать функции прогноза в определенном пространстве данных и событий, что также не противоречит концепции построения МАС в целом и ИА в частности;

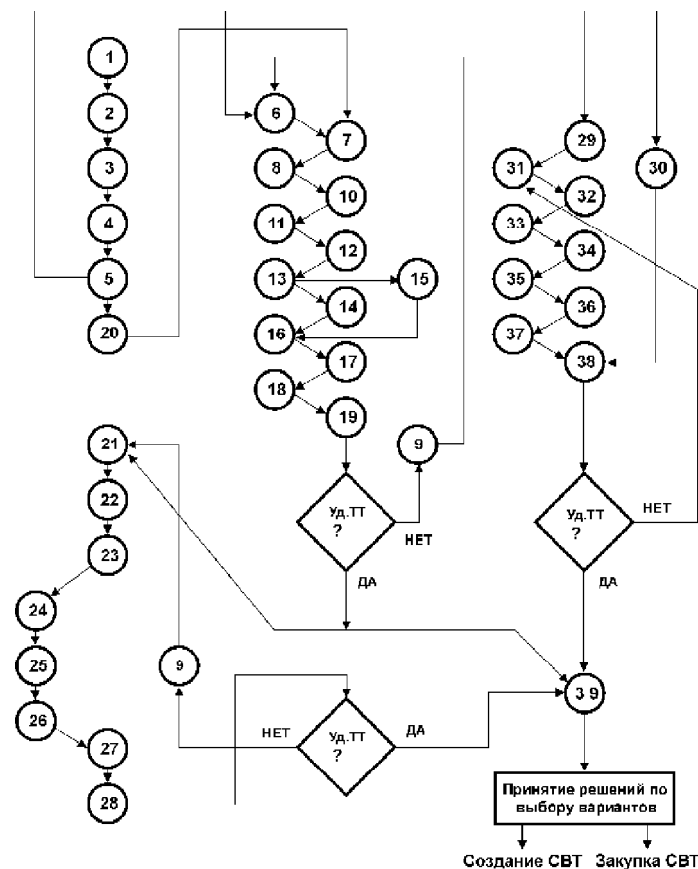


Рис.1 Дерево типовых процедур вариантов создания СВТ для установления «баланса»

☐ согласно рис.1 любой сложный ИА системы можно представить в виде композиции компонентов, каждая из которых реализует одну из процедур, при этом СИП в целом может быть скомпонована из отдельных ИА.

Наличие глобальной стратегии решения задачи «баланса» (табл.1, рис.1) и множества составляющих ее процедур, в том числе реализуемых с помощью АДЛ, позволяет осуществлять кооперацию пользователей при коллективном решении задачи. Это не противоречит концепции построения многоагентных систем, кооперации и коллективного поведения ИА при решении сложной задачи.

Таблица 1

Перечень типовых макропроцедур для решения задачи «баланса»

Обознач. (1)	Наименование макропроцедуры (2)
1.	Анализ глобальной стратегии решения задачи «баланса»
2.	Формирование исходных условий решения задачи «баланса»
3.	Выбор объектов СВТ для решения задачи «баланса» (классы СВТ, элементная база и т.п.)
4.	Анализ сопутствующих и противодействующих факторов закупки зарубежных / разработки отечественных СВТ. Расстановка их приоритетов
5.	Выбор глобального критерия отбора альтернативных вариантов решения задачи «баланса»
6.	Анализ исходной информации и формирование исходных условий решения задач, в т.ч. технических требований (ТТ) на изделие
7.	Формирование критериев оценки макроопераций
8.	Формирование «обобщенного портрета» (усредненных значений параметров) классов СВТ
9.	Уточнение ТТ к изделию СВТ, условий применения, категорий пользователей
10.	Выбор класса изделий СВТ
11.	Формирование исходного набора СВТ для дальнейшего анализа
12.	Анализ и оценка параметров рынка для СВТ выбранного класса
13.	Формирование первичного усеченного набора СВТ выбранного класса с учетом параметров рынка
14.	Оценка возможности применения СВТ выбранного класса в конкретных условиях для решения конкретных задач
15.	Оценка возможности закупки СВТ выбранного класса
16.	Формирование вторичного усеченного набора СВТ, удовлетворяющего условиям рынка и применения
17.	Анализ дополнительных критериев выбора СВТ
18.	Формирование i-го усеченного набора СВТ по дополнительным критериям: используемые перспективные информационные технологии и др.
19.	Проверка параметров изделия СВТ на удовлетворение требованиям ТТ
20.	Формирование исходных условий для выбора аналога СВТ при комплексировании (разработки)
21.	Выбор возможных направлений построения архитектуры и структуры комплексируемого СВТ на основе данных аналога
22.	Выбор типовой конфигурации СВТ, используемой в качестве опорной для комплексирования
24.	Определение диапазона значений параметров для каждой компоненты комплексируемого изделия
25.	Выбор оптимального сочетания аппаратных (АП.Пл.) и программных (Пр.Пл.) платформ как основы комплексируемого изделия
26.	Выбор других подсистем для комплексирования: подсистемы периферийных устройств, интерфейсов и др.
27.	Оценка технологических возможностей комплексирования изделия СВТ в Украине с заданными значениями параметров
28.	Оценка параметров изделия СВТ, полученного в результате комплексирования

Продолжение таблицы 1

(1)	(2)
29.	Определение приоритетных направлений научных исследований и разработок в области СВТ
30.	Оценка ожидаемых результатов реализации уже имеющегося конкретного Госзаказа на создание СВТ выбранного класса
31.	Формирование исходного набора проектов по общим данным проектов
32.	Оценка имеющихся заделов для каждого проекта в области фундаментальных и прикладных исследований
33.	Формирование первичного усеченного набора проектов
34.	Оценка наличия необходимых ресурсов (научных, инженерно-технических и производственных) для реализации проекта
35.	Формирование вторичного усеченного набора проектов
36.	Оценка экономической целесообразности реализации проектов
37.	Выбор конечного варианта проекта
38.	Оценка ожидаемых параметров конечного продукта на соответствие ТТ в результате реализации отобранного проекта (Госзаказа)
39.	Оценка альтернативных вариантов для выбора оптимального «баланса» закупка/производство СВТ по совокупности критериев согласно глобальной цели

Архитектура интеллектуального агента

С учетом вышеизложенного архитектура интеллектуального агента (ИА) распределенной СИП может быть представлена согласно многоуровневой классической модели МАС в виде, показанном на рис.2.

Архитектура, приведенная на рис.2, является звеном нижнего уровня многоуровневой архитектуры МАС, верхний уровень которой (не отраженный на данном рисунке) представлен как мета-уровень, на который возлагается координация деятельности агентов всей МАС. Этот уровень осуществляет реализацию глобальной стратегии решения комплексной задачи с учетом глобальных факторов, влияющих на результат решения

Важной особенностью предлагаемой архитектуры отдельного агента (рис.2) является многоуровневое представление его знаний, что упрощает их отображение в памяти, многократное использование и модификацию, поскольку эти компоненты могут создаваться и поддерживаться независимо. К таким уровням относятся:

1. Уровень знаний о предметных областях, в котором содержатся знания о типах и параметрах: средств вычислительной техники (СВТ); фирм-производителей СВТ; рынка СВТ в Украине и других предметных областей, рассмотренных в [1].

2. Уровень знаний об исходных условиях решения задачи, в котором содержатся знания: о состоянии научно-технического потенциала отрасли СВТ в Украине, сопутствующих и противодействующих факторах закупки импортных и создания отечественных изделий СВТ, о специфических условиях применения и эксплуатации изделий СВТ и др.

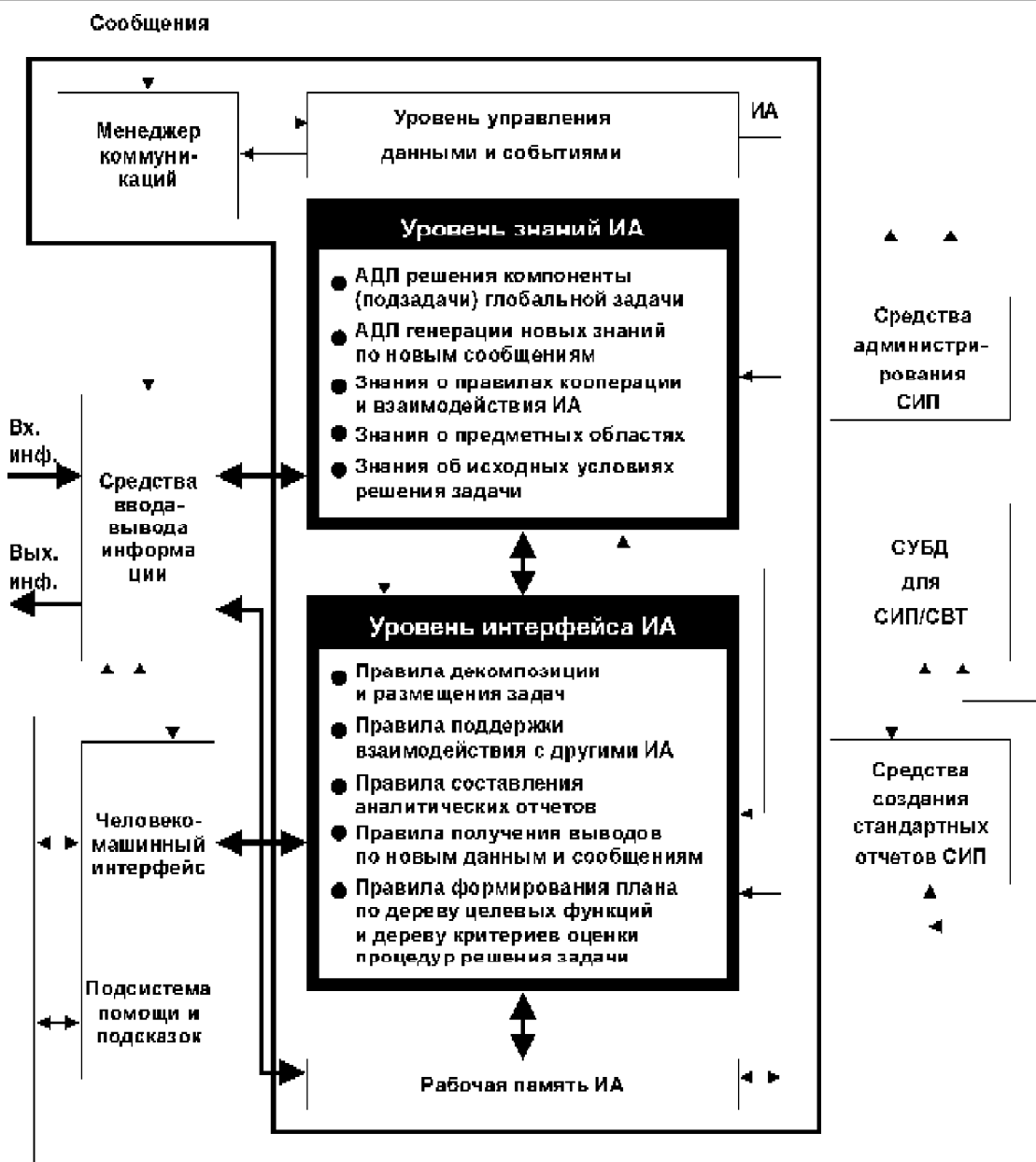


Рис. 2. Архитектура ИА в составе СИП/СВТ

3. Уровень знаний о правилах кооперации и взаимодействия агентов при коллективном решении сложной задачи. Управление кооперацией согласно этим правилам обычно использует механизм, основанный на взаимных обязательствах агентов и соглашениях о соответствующем их поведении при различных обстоятельствах.

4. Уровень управляющих знаний, в котором содержатся знания об управлении последовательностью процедур решения конкретной задачи, приписанной данному пользователю и соответствующему для него агенту многоагентной системы. Эта разновидность знаний представлена в виде алгоритма «деловой логики» решения одной или совокупности задач, изображенных на рис.1.

5. Уровень генерации новых знаний, в котором представлены правила выводов для получения новых знаний на основе поступающих сообщений.

Входящий в состав ИА менеджер коммуникаций представляет другим ИА в составе МАС сообщения, определяющие их взаимодействие типа: обратиться, принять, отвергнуть, изменить, запросить данные и т.п.

Рабочая память ИА предназначена для запоминания текущих данных, генерируемых различными уровнями, и в первую очередь – уровнем управления, пользователем и менеджером коммуникаций.

Способ организации многоагентной системы

ИА такого типа объединяются в многоагентную систему (МАС), ориентированную на решение комплексной задачи (в данном случае – задачу «баланса») с распределением ее подзадач между отдельными ИА в соответствии с «деревом целей» (рис. 3). При этом выделенные на рис. 3 вертикальные столбцы, обозначенные буквами латинского алфавита A, B, C, D, идентифицируются с конкретными типами подзадач, решение которых рассматривается в соответствии с иерархией целей по уровням 1-5. Столбец A отображает иерархию целей решения подзадачи выбора готового изделия СВТ из имеющихся на рынке, столбец B – иерархию целей подзадачи комплексирования, столбец C – иерархию целей разработки отечественного изделия СВТ по конкурсному проекту и столбец D – иерархию целей создания по Госзаказу конкретного изделия СВТ.

Один пользователь (агент) может быть ориентирован на решение подзадачи всего столбца (рис.3), при этом возможные взаимодействия между агентами (столбцами) по обмену информацией будут насыщенными во времени и многообразными по содержанию, что отображено на рис. 3 пунктирными линиями. Возможен вариант, когда один агент реализует две и более взаимосвязанных подзадачи, например подзадачи, соответствующие столбцам C и D на рис.3.

Отметим весьма важные обстоятельства. Результат достижения цели на каждом уровне для каждого агента (пользователя) оценивается соответствующим комплексным критерием типа $K_{ij}, i = \{1-5\}, j = \{A, B, C, D\}$, отображающим взаимосвязь взвешенных по приоритетам качественных и количественных значений параметров дерева критериев (рис. 4), которое соответствует дереву целей решения комплексной задачи (рис.3). При этом приоритетность (коэффициент важности) каждого параметра комплексного критерия K_{ij} оценивается экспертом. Методы определения значений комплексных критериев такого типа в составе дерева критериев известны, описаны в многочисленной литературе (например, в [3]) и поэтому здесь не рассматриваются.

Схема МАС при разбиении задачи по «столбцам» и распределении их по соответствующим агентам $Ag(i)$, где i – идентифицирует столбец ($i := A, B, C, D$), будет иметь вид, приведенный на рис.5. В свою очередь, каждый из $Ag(i)$ может содержать набор агентов более низкого уровня, например реализующих

подцели, выделенные на рис.3 на пересечении i -го столбца и j -той строки $j = (2,3,4)$. Так $Ag(A_i)$ может содержать множество подагентов $Ag(A_i) \supset \{Ag(A2), Ag(A3), Ag(A4)\}$. Возможно и дальнейшее дробление агентов на составные агенты более низкого уровня, каждый из которых может выполнять конкретную функцию, например, функцию обеспечения для конкретных агентов информацией, функцию управления интерфейсом и т.д.

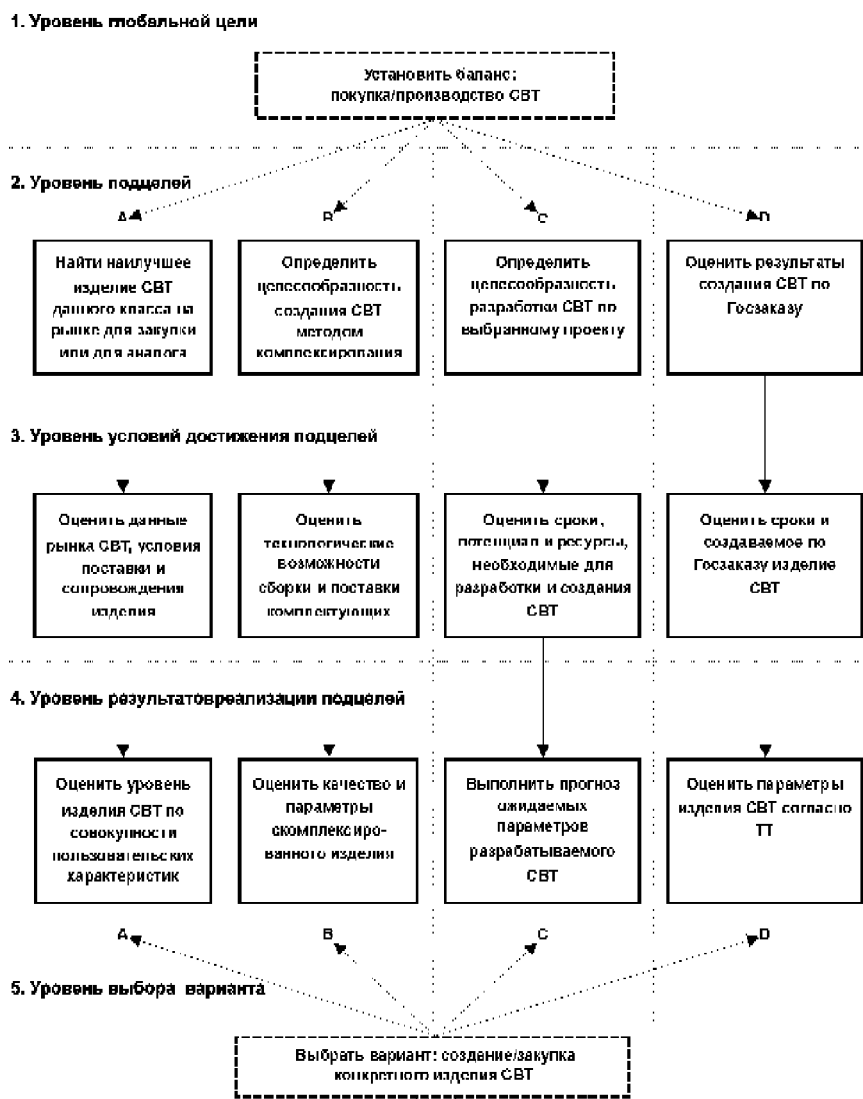


Рис. 3. Дерево целей решения комплексной задачи «баланса»

В общем случае архитектура агента в многоагентной системе определяется парой [4]:

$$Ag = \langle shmP, M \rangle, \tag{1}$$

где $shmP$ – схема понятия агента (объекта),

$$shmP = \langle B, C, D \rangle,$$

$B = \{B_j\}, j = 1, \dots, q$ – множество имен признаков, которые позволяют отличать объекты, относящиеся к одному и тому же понятию;

$C = \{C_k\}, k = 1, \dots, m$ – множество признаков, обеспечивающих связь между различными понятиями;

$D = \{D_h\}, h = 2, \dots, n$ – множество признаков, используемых в качестве характеристики содержания понятия.

В выражении (1) компонента M обозначает метод агента, реализующий преобразование входных атрибутов в выходные и состоящий из множества правил R , связанных в семантическую сеть N , которая определяет структуру метода:

$$M = \langle R, N \rangle.$$

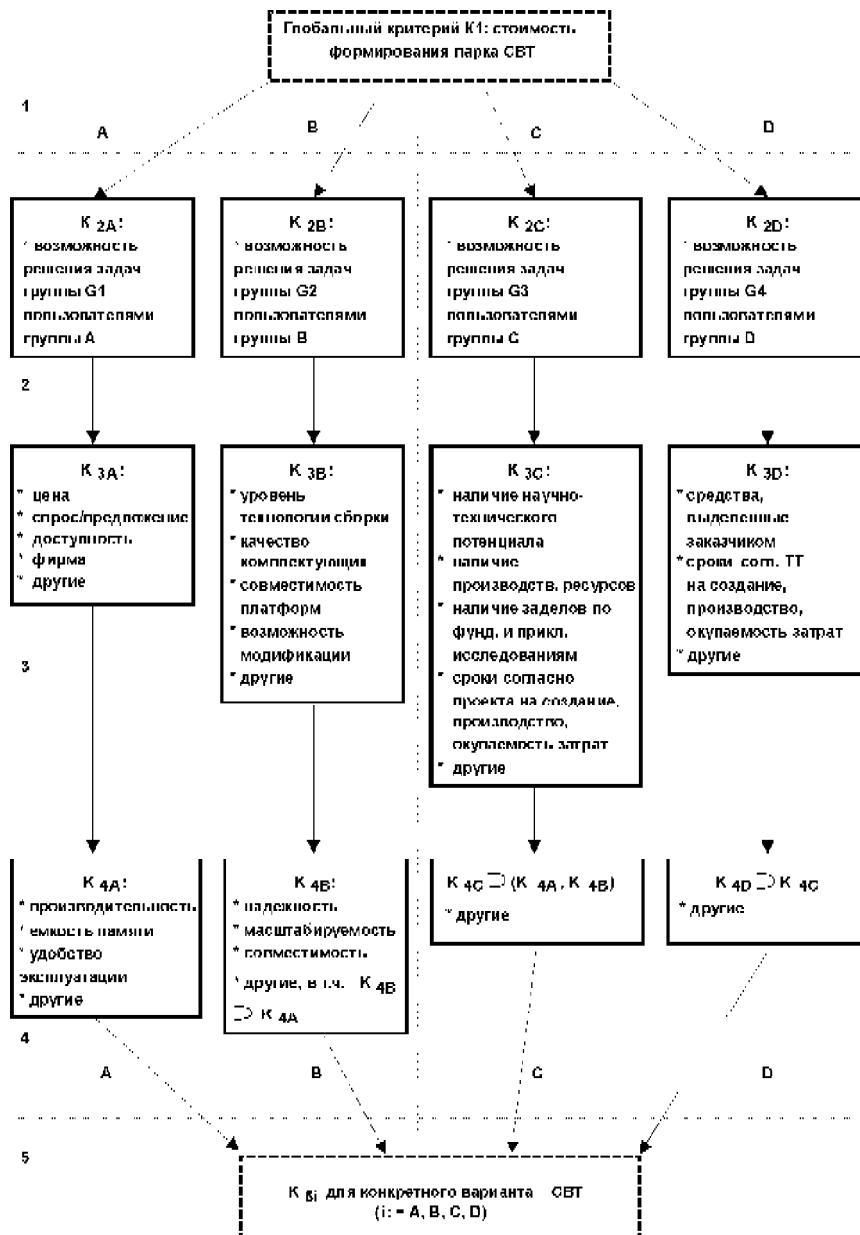


Рис. 4. Дерево критериев оценки при решении задачи «баланса»

Применительно к рассматриваемой выше задаче «баланса» (рис. 1) и ее интерпретации на архитектуру агента в составе СИП (рис. 2), дерево целей (рис. 3) и дерево критериев (рис. 4) общее представление архитектуры агента (1) можно конкретизировать следующим образом:

$$Ag = \langle m, q, s, X, Y, L \rangle, \quad (2)$$

где: m – модель среды агента, отображающая «знание» агента о среде; $m \in M$, M – набор моделей сред;

q – цель агента в составе набора Q упорядоченных целей (например, согласно рис. 3), $q \in Q$;

s – стратегия функционирования агента из набора S -конфигураций стратегий МАС, $s \in S$;

X – операция выполнения агентом стратегии s , например в соответствии с АДЛ;

Y – операция «наблюдения» агентом для восприятия среды;

L – операция адаптации (обучения) агента.

Среда V агента может быть определена в виде [5]:

$$V = \langle E, A, C \rangle, \quad (3)$$

где E – жизненное пространство агента в системе;

A – набор агентов, образующий конфигурацию агентов в составе МАС;

C – соединение между агентами и пространством E .

При этом $E = \langle R, T \rangle$, где R – набор ресурсов для реализации пространства E ; T – топология жизненного пространства, определяющая набор мест, где агенты могут жить и работать.

Используя приведенные выше выражения, можно достаточно прозрачно представить основную идею функционирования агента в следующем виде:

1. Агент «наблюдает» за средой и, используя операцию Y , строит модель m среды V .

2. Далее агент как бы оценивает «свои возможности», используя стратегию s (алгоритм «деловой логики»), которую он применяет к модели m , преобразуя ее в модель m' , отображающую модифицированную среду.

3. Агент сравнивает в своем представлении модели m и m' , используя функцию q , которая определяет цель функционирования агента.

4. Если оценка m и m' удовлетворяет агента, он реализует стратегию s , которая представлена операцией X .

Из рассмотренных агентов строится многоагентная система (рис. 5), которая может быть описана в виде:

$$MAC = \langle N, Q, A, E, P \rangle, \quad (4)$$

где: N – имя (Name) системы; A – набор всех конфигураций агентов системы $A \in A$; E – набор всех жизненных пространств системы ($E \in E$); P – общесистемные характеристики.

При проектировании МАС важное значение придается проблеме построения жизненного пространства для каждого агента и системы в целом, в част-

ности составу, структурам баз данных (знаний) и их содержательному наполнению. Кроме того, соответствующая среда должна быть предусмотрена для хранения АДЛ, дерева цели (рис.3), дерева критериев оценки (рис.4), а также текущих логических выводов и других компонентов знаний и правил, отображенных на рис.2.

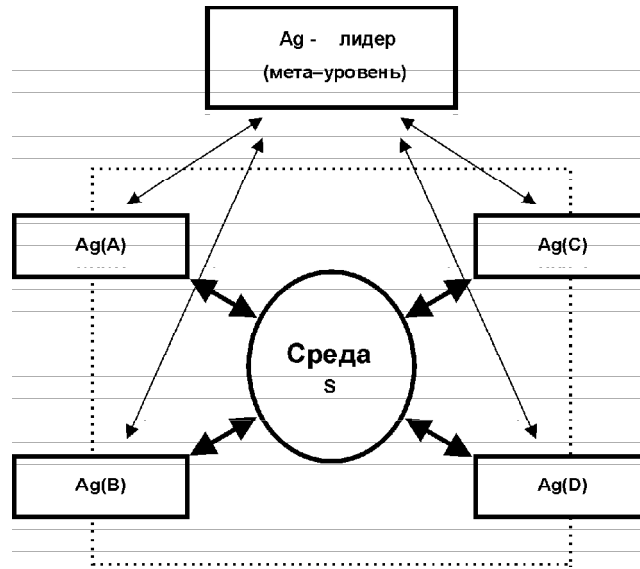


Рис. 5. Схема МАС, ориентированная на решение задачи «баланса»

В Институте кибернетики НАН Украины создан макет системы информационной поддержки научно-технической политики (СИП/НТП) в области СВТ [1, 6], которую в аспекте проблемы интеллектуализации такого рода систем можно рассматривать в качестве базиса для построения жизненного пространства МАС.

Система содержит уникальные базы данных о различных предметных областях, имеющих отношение к закупке, созданию и применению изделий СВТ, обладает достаточно эффективными механизмами создания аналитических отчетов и как система информационной поддержки ориентирована на широкий круг пользователей, разнообразие решаемых задач и разнотипность форматов представления данных. Погружение в нее агентов с предложенной на рис. 2 архитектурой и схемой организации МАС (рис.5) на их основе позволяет придать СИП новые качественные признаки за счет:

- параллелизма обработки информации разными агентами;
- уменьшения объема передаваемых данных по коммуникационным каналам, так как отдельным агентам передаются высокоуровневые частичные решения;
- гибкости, так как имеется возможность использования агентов различной мощности, обеспечивающих совместное решение проблемы;
- повышенной надежности, так как имеется возможность передачи решающих функций от одних агентов, которые не в состоянии решить поставленной задачи, – другим.

Такая многоагентная система по сравнению с реализованной ранее СИП/НТП существенно повышает оперативность и обоснованность принимаемых решений, обеспечивая при этом высокую достоверность и актуальность предоставляемой пользователю информации.

Заключение

Таким образом, на основе анализа макропроцедур и алгоритма решения задачи «баланса» закупки зарубежных / производства отечественных СВТ, сделан вывод, что для повышения уровня автоматизации и качества решения этой задачи целесообразно строить архитектуру СИП в соответствии с концепцией многоагентных систем (МАС). При этом набор агентов и их функции предлагается определять в соответствии с деревом целей и деревом критериев оценки, отображающих дерево (алгоритм) решения задачи «баланса», вершинами которого являются соответствующие макропроцедуры. Каждая из макропроцедур может быть также реализована соответствующим агентом.

Предложена типовая архитектура агента, используемого в составе СИП, определена его модель, а также архитектура и модель МАС. Определен исходный базис для построения жизненного пространства МАС.

На сегодняшний день еще не разработано достаточно строгой теории построения агентов и многоагентных систем и, следовательно, – типовых конфигураций агентов и соответствующих им МАС, поэтому фактически под каждую задачу (проблему) разрабатывается заново архитектура агента и МАС. Таких архитектур уже создано и описано достаточно большое количество [2, 4]. В связи с этим рассмотренные в данной работе вопросы повышения уровня интеллекта СИП являются важным шагом в создании теории агентов и ее практических приложений.

Литература

1. Коваль В.Н., Палагин А.В., Яковлев Ю.С. Об алгоритмизации задач научно-технической политики в области вычислительной техники // УСиМ. – 1999. – №2. – С. 22 – 38.
2. Городецкий В.И., Грушинский М.С., Хабалов А.В. Многоагентные системы (обзор) // Новости искусственного интеллекта. – 1997. – №1. – С. 12-47.
3. Евгений Елтаренко, Максим Сергиевский. Оценка аппаратных и программных средств по многоуровневой системе критериев // Компьютер пресс. – 1998. – №8 (август). – С. 268-272.
4. Евгеньев Г.Б. Мультиагентные системы компьютеризации инженерной деятельности // Информационные технологии. – 2000. – №3. – С. 2-7.
5. Krzysztof Cetnarowicz, Edward Nawareeki, Malgorzata Zabinska. M-Agent Architecture and Its Application to the Agent Oriented Technology of Decentralized System//Proc. of the International Workshop «Distributed Artificial Intelligence and Multi-Agent Systems» DAIMAS'97, St. Peterbyrg, Russia. – 1997. – P. 84-94.
6. Интегрированная аналитическая система информационной поддержки (АСИП) решения задач в области СВТ: концепция, реализация, перспективы // Коваль В.Н., Палагин А.В., Яковлев Ю.С. и др. / Проблемы программирования. Научный журнал 2000, № 1-2. Материалы второй международной конференции по программированию Укр ПРОГ'2000 (23-26) мая, Украина, Киев. – С. 398-408.