

# ДИАКОПТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ В МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

С. Ю. Борю, В. А. Ермолаев, В. А. Толоч

Запорожский государственный университет,  
кафедра математического моделирования и информационных технологий,  
Украина, 330600, Запорожье, ул. Жуковского, 66,  
E-mail: {bsu, eva, tolok}@zsu.zaporizhzhе.ua

## АННОТАЦИЯ

В данной статье предлагается подход к формализации и разработке моделей процессов информационного взаимодействия в сложных разнородных многофункциональных информационных системах с эволюционирующими распределенными компонентами. Предлагается использовать диакоптический метод макро моделирования для построения сообществ интеллектуальных информационных агентов, представляющих соответствующие функциональные и организационные компоненты предметной области.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время методы математического моделирования успешно применяются для анализа сложных многофункциональных физических систем в электротехнике, механике, других инженерных отраслях. Бурное развитие современных технологий обработки данных, появление и внедрение в жизнь понятий виртуальных информационных пространств и объектов ставит проблему математического моделирования сложных информационных систем и их взаимодействий. При этом, парадигмы виртуальной системы и виртуальной компоненты системы являются, с одной стороны, достаточно широко используемыми в многочисленных прикладных областях и весьма актуальными, а, с другой стороны, - понятиями недостаточно определенными и изменяемыми от представления функции системы в целом. Хорошими примерами, подчеркивающими важность исследований в области моделирования виртуальных компонент и систем, могут служить: развитие средств электронной коммерции и других функциональных услуг, оказываемых, через глобальные компьютерные сети; создание моделей и, на их основе, систем управления виртуальными предприятиями; широкое использование парадигм и технологий интеллектуальных информационных агентов для создания виртуальных компонент поддержки принятия решений и др. При этом, большой интерес вызывает моделирование информационных процессов в функциональных системах.

В данной работе предлагается подход к моделированию процессов информационного взаимодействия между компонентами функциональной модели (подразделения, предприятия) на основе принципа диакоптики [1].

Предлагаемый подход основывается на применении аппарата моделирования эволюционирующих сообществ интеллектуальных агентов, выполняющих роль персональных ассистентов в функциональной проекции виртуального информационного пространства [2], который базируется на использовании диакоптического принципа [1], концепции взаимодействующих интеллектуальных

агентов [3], методов семантического анализа данных [4] и элементов теории конечных автоматов [5]. В рассматриваемом контексте парадигма виртуального информационного пространства является способом представления реального или виртуального предприятия в терминах интегрированной информационной системы [2], архитектура которой базируется на стандарте CORBA [6].

В работе базисом для моделирования реальных процессов и функций является архитектура унифицированного информационного пространства (УИП) [7]. Данный базис:

- позволяет, в дополнение к функциональным моделям, учитывать организационную и геометрическую топологию предприятия и прозрачным образом интегрировать уже работающие на предприятии информационные системы (ИС);
- позволяет учитывать изменяющуюся топологию функциональной проекции УИП.

Поскольку некоторые из базовых понятий, используемых в работе, не имеют устоявшихся универсально признанных определений, приведем те их редакции, которые применяются ниже.

В соответствии с [8,9,10], под интеллектуальным агентом понимается программная система, расположенная в некоторой среде и способная на гибкие автономные действия для достижения целей, заложенных в данную систему при ее проектировании. Ключевыми особенностями интеллектуального агента считаются ситуативность, автономность и гибкость. Гибкость интеллектуального агента, следуя [8, 2], понимается как совокупность следующих важных свойств: *реактивности* - способности воспринимать воздействия среды и реагировать на них за конечное время; *проактивности* - способности не просто реагировать на воздействия, а быть ориентированным на достижение определенной для данного агента цели и проявлять "разумную" инициативу; *социальности* - способности взаимодействовать с другими искусственными агентами или человеком с целью решения своей собственной задачи или помощи другим в решении их проблем; *адаптивности* - способности адаптироваться к изменениям в онтологиях и других метаописаниях предметной области. В качестве базовой модели построения интеллектуального агента применяется модификация BDI модели [11].

В работе понятие сообщества агентов базируется на парадигме многоагентной системы (МАС) [8]. Концепции и архитектуры МАС традиционно строятся на базе объединения и специализации автономных агентов в систему при помощи моделей и средств коммуникации. Одним из широко применяемых базисов для построения протоколов и языков, обеспечивающих взаимодействие интеллектуальных агентов в МАС, является теория актов речи (Speech - Act Theory) [12]. Распространенными средствами обеспечения этого взаимодействия являются формат обмена знаниями KIF [13], язык управления запросами и сообщениями KQML [14], и язык программирования агентов AOPL [15]. Примененный в работе аппарат моделирования ориентирован на использование перечисленных средств обеспечения коммуникации между агентами в практической реализации МАС, средства реализации стратегий координации, кооперации и торгов основываются на известном протоколе CNP [16].

Важной отличительной особенностью примененного в работе подхода к моделированию процессов информационного взаимодействия в сообществе интеллектуальных агентов (МАС) является отсутствие явно выраженной специализации элементов сообщества. Использование диакоптического принципа и технологии построения адаптивных информационных систем на базе активного словаря данных [17] позволяет расширить модель автономного агента свойством *адаптивности*. Кроме того, предлагаемый аппарат построения модели функциональной системы позволяет в ряде случаев значительно упростить

моделирование за счет подмены более сложной модели системы взаимодействующих агентов более простой моделью агента, воспринимающего внешние по отношению к функциональной системе воздействия.

## АППАРАТ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Базовым элементом в модели сообщества агентов является модель агента, представленная следующим соотношением:

$$A = \{F_a, F_X, F_Y, S, X_A, F, F_O\}, \quad (1)$$

где:

$S_A = \{s_1, \dots, s_n\}$  - множество состояний агента  $A$ .

$X_A = \{x_1, \dots, x_p\}$  - множество системных параметров агента  $A$ .

$F_a = F_a(a, F, s_i) = \{\mathfrak{K}_a, \wp_a(s_i), \mathfrak{R}_a, \delta_a(s_i)\}$  - конечный автомат, осуществляющий авторизацию политики воздействия  $a$  в состоянии  $s_i \in S$ . Входная последовательность  $a$  записывается в «символах» входного алфавита  $\mathfrak{K}_a$ . Множество состояний конечного автомата  $\wp_a$  есть функция от состояния  $s_i$  агента  $A$  и элементы множества состояний зависят от состояния  $s_i$  агента  $A$ . Множество разрешающих состояний  $\mathfrak{R}_a$  состоит из одного элемента - состояния помеченного на Рис 3. символом  $\mathfrak{R}$ . Функция переходов  $\delta$  также зависит от состояния  $s_i$  агента  $A$ .

$F_X = F_X(X, X_A, s_i) = \{\mathfrak{K}_X, \wp_X(X_A, s_i), \mathfrak{R}_X, \delta_X(X_A, s_i)\}$  - конечный автомат, осуществляющий проверку соответствия параметров  $X$  полученного воздействия  $a$  на соответствие множеству системных параметров  $X_A$  и ограничениям состояния  $s_i$ .

$F_Y = F_Y(Y, f, s_i) = \{\mathfrak{K}_Y(f), \wp_Y(f, s_i), \mathfrak{R}_Y(f), \delta_Y(f, s_i)\}$  - конечный автомат, осуществляющий проверку соответствия описания ожидаемых результатов  $Y$  тем результатам, которые могут быть получены при выполнении агентом  $A$  в состоянии  $s_i$  политики  $f$ .

$F = \{f_1, \dots, f_i, \dots, f_m\}$  - роль агента - множество политик, выполняемых агентом  $A$ .

$F_O$  - программная компонента, выполняющая политику  $f$ .

$f \in F$  - политика действия - набор атомарных инструкций, представленный в виде программы, содержащей ветвления. Подобные программы описаны, например в [18].

Аппарат взаимодействия агентов - членов функционального сообщества построен на базе известных моделей и средств [19,20,18,3,10,14,16]), базирующихся на понятиях интеллектуального агента, роли, политики, стратегий координации, кооперации и торгов. Учитывается, что реакция агента на детерминированное воздействие может зависеть от состояния агента. Кроме того, реакция агента на воздействие может привести к переходу его в другое состояние. Состояние агента, в свою очередь может накладывать определенные ограничения на воздействия или параметры воздействий, которые принимаются агентами к исполнению. Таким образом, при разработке модели процесса, выполняемого взаимодействующими агентами необходимо учитывать, что роль агента - есть функция состояния, изменяющая состояние. Состояние агента может также накладывать ограничения как на область значений входящих параметров, так и на получаемые на базе этих параметров результаты.

Выделяется несколько видов воздействий, оказываемых на агенты сообщества (или на агент, моделирующий сообщество), которые отличаются друг от друга реакцией на это

воздействие. Если представить внешнее воздействие на сообщество и реакцию агента (модели сообщества) на это воздействие в виде следующего соотношения:

$$\tilde{Y} = a(f, X, Y) \quad (2)$$

где:  $a(f, X, Y)$  - воздействие,  $f$  - политика,  $X = (x_1, \dots, x_n)$  - параметры,

$Y = (y_1(X), \dots, y_m(X))$  - описание запрашиваемых результатов,

$\tilde{Y} = (\tilde{y}_1(X), \dots, \tilde{y}_k(X))$  - реакция (результаты)

и, кроме того, взаимодействие агентов внутри сообщества, в виде:

$$\tilde{Y}^* = a^*(f^*, X^*, Y^*) \quad (3)$$

то:

- для воздействия вида «директива» будет справедливо:

$$X^* \subseteq X, \quad Y^* = \tilde{Y}^* = \emptyset, \quad f^* \subseteq f; \quad (4)$$

- для воздействия вида «детерминированный запрос с детерминированной реакцией» будет справедливо:

$$X^* \subseteq X, \quad Y^* = \tilde{Y}^*, \quad f^* \subseteq f; \quad (5)$$

- для воздействия вида «детерминированный запрос с оптимизацией результата» будет справедливо:

$$X^* \subseteq X, \quad Y^* \subseteq \tilde{Y}^*, \quad f^* \subseteq f; \quad (6)$$

- для воздействия вида «недетерминированный запрос с оптимизацией результата» будет справедливо:

$$X^* = X, \quad Y^* = \tilde{Y}^*, \quad f^* \equiv f; \quad (7)$$

Очевидно, что (6) дает нам соотношения для общего случая связи компонентов уравнений (2) и (3).

Приведенная модель позволяет описать в абстрактной форме сообщество интеллектуальных информационных агентов, соблюдая следующую иерархию: сообщество - функциональная система - функциональная модель - процесс выполнения функции (задания).

## МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Назовем для определенности анализируемый нами функциональный аспект многофункциональной информационной системы функциональной системой. Под **функциональной системой** будем понимать конечное множество взаимодействующих **функциональных компонент**. Назначение указанной системы заключается в выполнении **заданий**, возникающих в результате воздействия  $a$  на систему или порождаемых системой - в дальнейшем  $W_a$ . При этом множество допустимых заданий для функциональной системы будем считать «открытым», то есть априори не заданным. Под заданием будем понимать множество конкретных действий (или **работ**), на которые может быть разложено задание с целью его выполнения - в дальнейшем  $W_a = \{w_1, w_2, \dots\}$ .

Моделью функциональной **компоненты** такой системы в данной работе считается интеллектуальный информационный агент, являющийся членом сообщества агентов (элементом модели функциональной системы) и предназначенный для выполнения некоторого множества заданий и/или шагов. Формальная модель такого агента представлена соотношениями (1) - (7).

Развивая подход, изложенный в [1], **функциональную модель** компоненты и функциональной системы в целом построим на идее «поглощения» и «генерации» атомарных работ, принадлежащих некоторому множеству  $W = \{w_1, w_2, \dots\}$ .

Будем считать, что на вход  $i$ -той функциональной компоненты системы поступает некоторое задание  $W_i \subseteq W$ . Часть из этих работ  $W_i^r$  может быть выполнена («поглощена») данной компонентой, а оставшаяся часть  $W_i^d$  будет *перенаправлена* к другим компонентам системы. Для выполнения работ  $W_i^r$  функциональная компонента может сгенерировать дополнительное множество работ (задание)  $W_i^g$ , которые, как и  $W_i^d$ , направляются на вход других компонент:

$$W_i \rightarrow F_O^i(W) \rightarrow \tilde{W}_i, \quad (8a)$$

где:  $W_i = \{W_i^r, W_i^d\}$ ,  $\tilde{W}_i = \{W_i^d, W_i^g\}$ ,  $F_O^i(W)$  - исполнитель политики (1).

В особом случае  $i$ -тая компонента может генерировать новое множество работ  $W_i^g$  без входного воздействия  $W_i$ , т.е. породить новое задание:

$$F_O^i(W) \rightarrow \tilde{W}_i, \quad (8б)$$

где:  $\tilde{W}_i = \{W_i^g\}$ ,  $F_O^i(W)$  - исполнитель политики (1).

Задачей функциональной модели компоненты является выполнение (8a) и (8б).

Для выполнения конкретной работы, как правило, требуется некоторый временной интервал  $\Delta t$ . Будем говорить об **установившемся** режиме функционирования компоненты и системы в целом в том случае, когда время выполнения задания нас не интересует, а интерес представляет выполнение («поглощение») задания системой. В случае учёта временной зависимости будем говорить о **переходном** режиме функционирования.

Функциональная система предназначена для выполнения процессов. Под процессом будем понимать процедуру выполнения заданий. Процесс  $\Pi_a$  начинается с порождения нового задания  $W_a \subseteq W$ . Задание  $W_a$  и порожденные им дополнительные задания  $\tilde{W}_a$  будем считать связанными с процессом  $\Pi_a$  и помеченными уникальным идентификатором этого процесса. Компоненту будем называть **связанной с процессом**  $\Pi_a$  в случае, если она «поглотила» часть  $W_a$ ,  $\tilde{W}_a$  или сгенерировала  $W_a^g$ .

Будем считать, что процесс  $\Pi_a$  завершен, если все компоненты системы прекратили «поглощать» атомарные работы заданий, связанных с процессом  $\Pi_a$ . Множество не поглощенных в процессе  $\Pi_a$  атомарных работ  $W_{\Pi_a}^z$  будем называть **невыполнимым**.

Моделирование процесса  $\Pi_a$  выполняется применением (8б) и (8a) ко всем компонентам системы до его завершения.

Моделирование зависимости  $F_O^i(W)$  выполняется на базе (1) - (7), либо при помощи других средств. Единственное требование, предъявляемое к такой функциональной модели компоненты - это адекватное выполнение (8a), (8б).

Для практических применений без существенного ограничения общности множество допустимых в системе атомарных работ можно считать конечным  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_\sigma\}$ . При таком ограничении предоставляется возможность воспользоваться принципом

макромоделирования [21]. Принцип макромоделирования позволяет отказаться от топологического анализа компонент системы и предполагает реальное использование преимуществ диакоптического подхода [1]. При этом моделирование системы в целом организуется как двухуровневый процесс, развивающийся последовательно в дискретные моменты времени  $t_n, t_{n+1} = t_n + \Delta t$ .

## МАКРОМОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Пусть  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_\sigma\}$  - множество атомарных работ функциональной системы.

**На первом** (верхнем) уровне осуществляется объединение состояний всех компонент в общую модель системы в момент времени  $t_n + \Delta t$ , которую, в указанном случае, рационально представить в виде матрицы  $\Omega(t_n + \Delta t)$  размерности  $m \times \sigma$ . Где  $m$  - количество компонент в системе,  $\sigma$  - количество атомарных работ в множестве  $W$ . Строки матрицы - векторы состояний компонент системы  $\Theta_i = \{k_1, k_2, \dots, k_\sigma\}$ . Здесь  $k_j$  - состояние  $i$ -й компоненты системы выполнения атомарной работы  $w_j$ . В самом простом случае роль параметра  $k_j$  следующая:  $k_j = 0$  - компонента выполняет работу  $w_j$ ;  $k_j = l > 0$  - компонента выполняет работу  $w_j$  и ему требуется ещё выполнить  $l$  таких работ;  $k_j = l < 0$  - компонента могла, но не выполняла  $l$  работ  $w_j$  (простой).

Матрица  $\Omega(t_n + \Delta t)$  состояния системы формируется на базе состояний компонент системы, представленных в виде матриц  $K_i$  размерности  $m \times \sigma$ , значения которых определяется математической моделью компоненты  $F_O^i(W)$  на втором уровне моделирования таким образом, чтобы

$$\Omega = \sum_{i=1}^n K_i. \quad (9)$$

**На втором** (нижнем) уровне, который выполняется для каждой компоненты системы, происходит расчёт  $K_i$ . Компоненты моделируются произвольным ( $F_O^i(W)$ ) способом, но при этом входной информацией для  $i$ -той компоненты служит вектор  $\Theta_i$ , матрица  $\Omega(t_n)$  и матрица  $K_i$ , определённые для предыдущего момента времени. Матрица  $K_i$  строится по следующему правилу, и должна адекватно отражать поведение компоненты на интервале  $\Delta t$ :

	$w_1$	$w_2$	...	$w_\sigma$
Компонента 1	$k_{11}$	$k_{12}$	...	$k_{1\sigma}$
Компонента 2	$k_{21}$	$k_{22}$	...	$k_{2\sigma}$
$K_i =$ ....				
Компонента $i$	$k_{i1}$	$k_{i2}$	...	$k_{i\sigma}$
.....				
Компонента $n$	$k_{n1}$	$k_{n2}$	...	$k_{n\sigma}$

где:

$k_{lj}$  при  $l \neq i$  принимает значения: **1** -  $i$ -я компонента поручает работу  $w_j$   $l$ -й компоненте, **0** -  $i$ -я компонента **не** поручает работу  $w_j$   $l$ -й компоненте;

$k_{ij}$  принимает значения: **-1** -  $i$ -я компонента может выполнять работу  $w_j$ , **0** -  $i$ -я компонента **не** может выполнять работу  $w_j$ .

Анализ значений  $\Omega(t_n)$  на каждом временном интервале однозначно позволяет определить загруженность компоненты, ее «простой», а так же при необходимости изменить стратегию ее функционирования  $F_O^i(W)$ .

Реализация предлагаемого способа моделирования представляется достаточно очевидной. Для каждой типовой функциональной компоненты системы разрабатывается программа - макромодель. Всем компонентам системы присваивается номер и указывается тип макромодели. При необходимости все атомарные работы могут быть сформированы так, что реальные времена для каждой работы были равны между собой и равны  $\Delta t$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен подход к моделированию процессов информационного взаимодействия между компонентами функциональной модели (подразделения, предприятия) на основе принципа диакоптики. Принцип диакоптики применен к новой области приложения - моделированию информационных процессов в многофункциональных системах.

Предложены формальный аппарат моделирования сообщества интеллектуальных агентов, правила и способ моделирования функциональной системы и ее компонент.

Отличие предлагаемого подхода к моделированию заключается в представлении моделируемой системы, как системы «реально» существующих эволюционирующих объектов, а также системы виртуальных компонент, каждая из которых может являться моделью другой функциональной системы. Отмеченное представление наиболее близко к практике и воспринимается исследователем вполне естественно и однозначно. Вариация сложности моделей компонент системы не влияет на процесс моделирования и позволяет сравнительно легко управлять степенью адекватности модели системы в целом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kron, G., Diacoptics. Macdonald, London, 1963
2. Ermolayev, V. A., Borue, S. U., Tolok, V. A., Use of Diacoptics and Finite Automata for Modelling Virtual Information Space Agent Societies. Submitted to CIA'99, Uppsala, Sweden, Jul-Aug, 1999.
3. Deen, S. M., An Architectural Framework for CKBS Applications, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol. 8, No. 3, June 1996, pp. 663 - 671
4. Storey, V. C., Dey, D., Sundaresan, S., Ullrich, H. and Yamakawa, S., Learning Accross Application Domains for Database Design Systems. Proc. of the 6-th Workshop on Information technologies and Systems (WITS'96), Cleveland, Ohio, 1996.
5. Глушков, В. М., Введение в кибернетику, Изд-во АН УССР, Киев, 1964, 323 с.
6. Otte, R., Patrick, P., Roy, M. Understanding Corba, 1/e. - Prentice Hall Professional

Technical Reference, ISBN 0-13-459884-9, 1996, 288 pp.

7. Ермолаев, В. А., Плещкий, С. Ю., Толоч, В. А. Архитектура унифицированного информационного пространства виртуального университета., Вісник Запорізького державного університету, №2, 1998, ст. 44-53.
8. Jennings, N. R., Sycara, K., Wooldridge, M., A Roadmap for Agent Research and Development, Autonomous and Multi-Agent Systems, 1, 1998, pp. 7-38.
9. Deen, S. M., A Computational Model for a Cooperating Agent System, To appear in the Proc. of 3-rd Intl. Workshop on Cooperative Information Agents, July, 1999, Uppsala, Sweden, 14 p.
10. O'Brien, P. D., Nicol, R., FIPA: Towards a Standard for Intelligent Agents., <http://>
11. Rao, A. S. and Georgeff, M. P. BDI agents - from theory to practice, Proc. of the 1st Intl. Conf. on Multi-agent Systems, San Francisco, 1995.
12. Searle, J. R., Speech Act, Cambridge university Press, 1969.
13. Gencsereth, M.R. and Fikes, R.E. Knowledge Interchange Format Reference Manual, Computer Science Department, Stanford University, June 92.
14. Finin, T. and Fritszon, R. KQML - A language for protocol and information exchange, Proc 13th DAI workshop, pp 127-136, Seattle, WA, USA.
15. Shoham, Y. Agent Oriented Programming, Artificial Intelligence, Vol: 60, 1993, pp. 51-92.
16. Smith, R.G. The Contract Net Protocol: High Level Communication and Distributed Problem Solver, Readings in Distributed Artificial Intelligence, edited by A. Bond and L. Gasser, published by Morgan Kaufmann, 1988, pp. 357-366.
17. Ermolayev, V. A., Object Oriented Dynamic Data Modelling and Active Data Dictionaries: Some Crosspoints., Вісник Запорізького державного університету, №2, 1998, ст. 53 - 63.
18. Baral, C., Lobo, J., Formalizing Workflows as Cooperative Agents In Proc. of DYNAMICS 97 (a workshop in ILPS 97).
19. Lupu, E., Milosevic, Z., Sloman, M., Use of Roles and Policies for Specifying and Managing a Virtual Enterprise. Submitted to 9-th International Workshop on Research Issues on Data Engineering, Mar., 1999
20. Davulcu, H., Kifer, M., Pokorny, L. R., Ramakrishnan, C. R., Ramakrishnan I. V., Modeling and Analysis of Interactions in Virtual Enterprises. Submitted to 9-th International Workshop on Research Issues on Data Engineering, March, 1999
21. Бутырин, П. А., Борю, С. Ю. Комплекс программ макро моделирования систем: Сб. Моделирование силовых вентильных преобразователей., Киев ИЭД, 1989, с. 12-20



## АННОТАЦИЯ

В данной статье предлагается подход к формализации и разработке моделей процессов информационного взаимодействия в сложных разнородных многофункциональных информационных системах с эволюционирующими распределенными компонентами. Предлагается использовать диакоптический метод макромоделирования для построения сообществ интеллектуальных информационных агентов, представляющих соответствующие функциональные и организационные компоненты предметной области.

## ABSTRACT

The paper presents the approach to formalising and designing of the models of the processes of information interchange in complex heterogenous multifunctional information systems with evolving distributed components. Proposed is to apply diakoptical macromodelling method to the design of intelligent information agents' societies, representing corresponding functional and organisational components of the Universe-of-Discourse.