

УДК

КП

№ госрегистрации: **0102У005339**

Инв. №

Министерство образования и науки Украины  
Запорожский государственный университет  
(ЗГУ)

69063, г. Запорожье, ул. Жуковского, 66; тел. (0612)-64-17-24, факс (0612)-64-45-46, телекс 12-74-47 ОРИОН

УТВЕРЖДАЮ  
проректор по научной работе  
и международному сотрудничеству,  
д-р. техн. наук, проф.

\_\_\_\_\_ В. З. Грищак

20.11.2002 г.

ОТЧЕТ

О НАУЧНО - ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Разработка методов и моделирование процессов информационного  
взаимодействия в сложных распределенных системах с автономными активными  
компонентами

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ  
ПОСТРОЕНИЯ АГЕНТОВ, ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АГЕНТОВ,  
АНАЛИЗА ПОВЕДЕНИЯ СИСТЕМЫ, АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АГЕНТОВ  
(промежуточный)**

Руководитель НИР  
зав. каф. ММИТ,  
д-р. техн. наук., проф.

В.А. Толлок

20.11.2002 г.

2002

Рукопись закончена 10.11.2002.

**СПИСОК АВТОРОВ**

Руководитель НИР

зав. кафедрой

д-р. техн. наук., профессор

В.А. Толок

(Введение,  
разделы 1-4, выводы)

Ответственный исполнитель НИР

канд. физ.-мат. наук, доцент

В. А. Ермолаев

(Введение,  
разделы 1-4, выводы)

ст. науч. сотр.

канд. техн. наук, доцент

С. Ю. Борю

(Введение,  
разделы 1-4, выводы)

науч. сотр.

Н. Г. Кеберле

(Введение,  
разделы 1-4, выводы)

науч. сотр.

С. Л. Плаксин

(Введение,  
разделы 1-4, выводы)

## РЕФЕРАТ

Отчет НИР: 50 с., 50 источников

Объект исследования – сложные динамические системы принятия решений, управления, построенные на базе распределенных архитектур и включающие автономные активные компоненты, математические и алгоритмические модели и методы построения таких систем на базе агент-ориентированного подхода.

Цель проекта - разработка методов информационного взаимодействия в сложных распределенных информационных системах с автономными активными компонентами.

Задачи завершеного этапа проекта - разработка обобщенной архитектуры агента для построения автономных активных компонент в сложных системах; разработка математических и алгоритмических моделей информационного взаимодействия автономных активных компонент (агентов) в распределенной информационной системе; разработка методов анализа поведения системы, состоящей из активных автономных компонент (агентов).

Методы исследования - математическое моделирование, общая теория систем, имитационное моделирование.

Полученные результаты и новизна – Разработаны обобщенная архитектура и методы информационного взаимодействия автономных объектов (агентов) с собственным рациональным поведением и способностью к кооперации в сложных распределенных программных системах, обслуживающих разнородные информационные ресурсы, структура которых формализуема в рамках RDB, XML, RDF.

Область применения - научные, учебные и исследовательские работы.

Ключевые слова: КООПЕРАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОМ, КООРДИНАЦИЯ, ОРГАНИЗАЦИЯ, КОАЛИЦИЯ, МОНИТОРИНГ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, МОНИТОРИНГ ПОВЕДЕНИЯ, ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТЬ, КОММУНИКАЦИЯ, ТРАНСПОРТ, АГЕНТ.

Веб-сайт проекта: <http://www.zsu.zp.ua/racing/>

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	6
1 Подход к построению многоуровневой среды кооперации агентов в сложных динамических системах .....	9
2 Модели агентов и модели кооперации .....	12
2.1 Агент как функциональная система, функциональный компонент. Модель исполнения задачи .....	12
2.2 Модели координации .....	18
2.2.1 Переговоры при назначении работ .....	19
2.2.2 Координация потока работ .....	21
2.2.3 Оценки возможностей и кредитоспособности .....	23
2.2.4 Мониторинг и анализ производительности элемента организации .....	26
3 Обеспечение интероперабельности во взаимодействии агентов .....	30
3.1 Обеспечение операционной интероперабельности .....	30
3.1.1 Протоколы .....	30
3.1.2 Шаблоны диалогов и параметрические отклики .....	31
3.2 Обеспечение семантической интероперабельности .....	32
4 Обзор состояния исследований .....	36
4.1 Модели кооперации .....	36
4.2 Вопросы интероперабельности в организациях, сообществах и коалициях агентов .....	37
4.2.1 Общение и протоколы взаимодействия .....	38
4.2.2 Семантическая интероперабельность .....	40
4.3 Механизмы коммуникации агентов .....	41
4.4 Транспортные среды и сервисы .....	41
Выводы .....	43
Перечень ссылок .....	44

## ВВЕДЕНИЕ

Управление бизнес-процессами и автоматизация их выполнения по праву являются критическими задачами в таких областях как моделирование деятельности предприятия (Enterprise Modeling), моделирование информационных систем корпорации/предприятия. Доминирующим подходом при моделировании бизнес-процессов является его представление в виде потока работ (workflow). “Системы потоков работ доказали свою применимость для управления «административными» процессами – которые характеризуются понятной, хорошо определенной структурой и постоянной предсказуемой формой – до некоторого времени. В настоящее время существует общее мнение, что современные системы являются недостаточно гибкими для представления сложных динамических процессов с изменчивым контекстом” (цит. из [1]). Дополнительный фактор, влияющий на сложность применения стандартных решений, состоит в том, что знания о том, как должен выполняться бизнес-процесс, не сосредоточены в одном месте, а наоборот, распределены между разными исполнителями на разных организационных уровнях и блоках. Определить весь поток работ целиком становится невозможным в открытой среде [2] (какой, например, является electronic marketplace), а также считая исполнителей более заинтересованными в своей выгоде, нежели бескорыстными, либо считая, что исполнители вынуждены действовать в среде с ограниченным уровнем доверия.

Данная работа касается вопросов кооперации в динамических открытых распределенных бизнес процессах, реализуемых коалициями (напр., [3]) рациональных агентов[4], выполняющих задания. Согласно спецификации BPMML [5] (языка разметки бизнес-процессов), под бизнес-процессами понимаются частично упорядоченные множества атомарных или неатомарных работ [6] выполняемых при взаимодействии участников в соответствии с определенным множеством правил для достижения общей цели. Агенты представляют разумных актеров, обладающих своими собственными ролями [1], как членов сообщества организационных блоков, обладающих знаниями о том как разделить и исполнить ту или иную деятельность.

Эти актеры формируют коалиции для оптимального выполнения задач, возникающих в бизнес-процессе. В этом случае, модель потока работ для выполнения бизнес-процесса генерируется «на лету» и в дальнейшем может быть использована для анализа производительности и точной настройки.

Модели и шаблоны кооперации между агентами являются ключевым моментом для исполнения и управления распределенным бизнес-процессом. Важным фактором является необходимость принятия во внимание баланса [7] между такими свойствами актеров как рациональность, заинтересованность в своей выгоде и бескорыстность (в том смысле, что актеры готовы рационально подходить к совместной работе). Другим важным фактором для открытых организаций является необходимость иметь дело с разными поведенческими стереотипами, архитектурными, техническими платформами на разных уровнях абстракции, использованных для реализации актеров независимыми участниками унифицированным образом для достижения нужного уровня интероперабельности. В работе предлагается многослойная агент-ориентированная среда кооперации в области управления бизнес-процессами, а также детальное обсуждение уровней модели кооперации и уровня интероперабельности.

Структура работы такова: раздел 1 посвящен описанию подхода к построению обобщенной архитектуры многоуровневой среды кооперации; 2 раздел представляет подробное описание уровня моделей кооперации и обсуждение моделей организации и бизнес-процесса, моделей координации кооперативного исполнения работ и мониторинг действий каждого организационного компонента/подсистемы; в разделе 3 обсуждаются операционный и семантический слоты уровня интероперабельности; раздел 4 отражает состояние исследований в данной области, а также очерчивает роли более низких уровней – коммуникационного и транспортного; раздел 5 содержит выводы и планы будущей работы.

Работа выполнена в соответствии с календарным планом. Данный отчет отражает фактические результаты и состояние работ после завершения первого этапа работы.



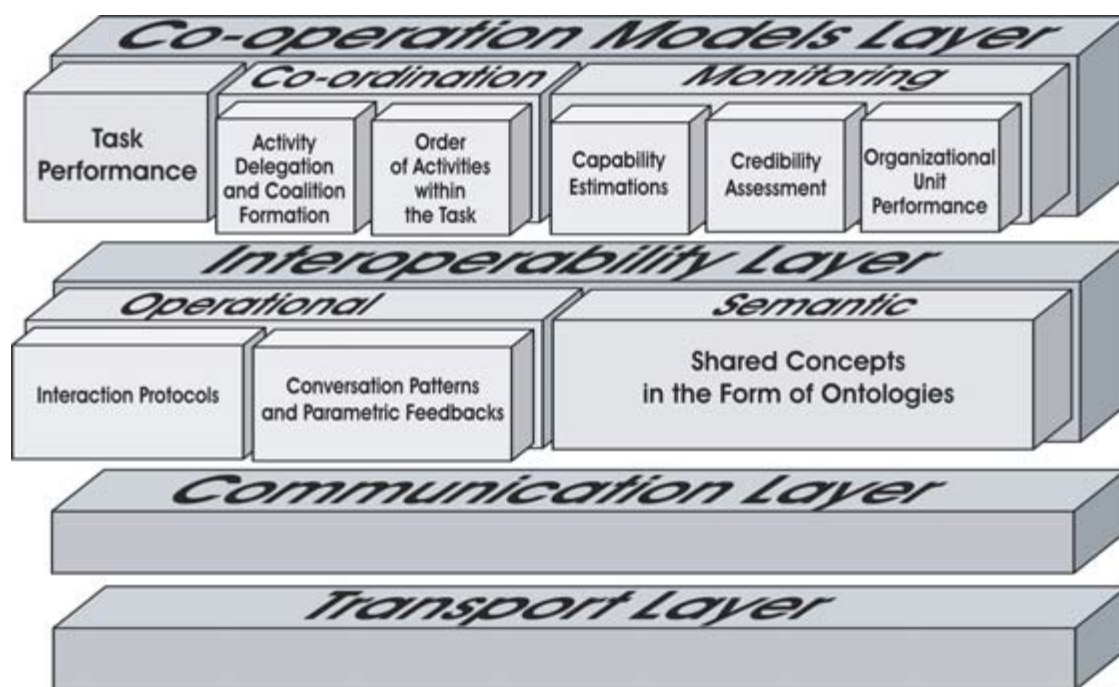
# 1 ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ МНОГОУРОВНЕВОЙ СРЕДЫ КООПЕРАЦИИ АГЕНТОВ В СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Кооперация при выполнении бизнес процессов автономными распределенными актерами, обладающими рациональным, нечетким и иногда противоречивым поведением внутри открытой организации является очень сложным действием. Один из наиболее широко используемых подходов для решения такой многоаспектной задачи – это создание многоуровневой среды. Например, в InfoSleuth [8] в качестве такого решения используется многоуровневая оболочка агента (Layered Agent Shell). В данном контексте чем выше уровень на котором мы находимся – тем более специфичные для предметной области и более абстрактные и сложные компоненты подключены к слотам среды. Чем ниже уровень - тем более стандартными, конкретными формализованными элементами мы будем пользоваться.

Именно такой подход используется в данной работе для представления кооперации. Предлагается четырех уровневая среда, базирующаяся на агентском подходе, для управления бизнес процессами и их исполнением. Уровни данной среды таковы (см. Рис. 1.1):

- уровень кооперации моделей (Cooperation Models Layer);
- уровень интероперабельности (Interoperability Layer);
- уровень коммуникации (Communication Layer);
- транспортный уровень (Transport Layer).

Два верхних уровня обеспечивают модели, образцы, формализмы для более сложных, проблемно-ориентированных конструкций и работ. Уровень Моделей Кооперации обеспечивает модели для организации, организационного блока, бизнес-процесса, образцов для координации исполнителей, образцов для исполнения деятельности и образцов для мониторинга поведения отдельных блоков. Уровень Интероперабельности содержит протоколы взаимодействия, образцы для



**Рис. 1.1** – Уровни кооперации в управлении бизнес-процессами и при исполнении бизнес-процессов.

сообщений между исполнителями, формализмы для параметрических отзывов и для совместно используемых концепций для обмена данными между агентами в процессе их совместной деятельности.

Два нижних уровня являются слотами для стандартных примитивов и компонентов. В качестве таковых используются спецификации коммуникативных актов, выраженные в языках коммуникации агентов KQML [9] и FIPA ACL [10] для Уровня Коммуникации и Транспортного уровня, а также конверты [11] для Транспортного уровня.

С концептуальной точки зрения предполагается, что компоненты более высокого уровня состоят из элементов более низких уровней. Подходящая альтернатива (например, KQML-перфоматив или ACL-сообщение) используется для ориентации на конкретную платформу разработки. С точки зрения реализации, главным образом на нижних уровнях, низкоуровневые примитивы используются как

стандартные оболочки для более сложных и проблемно-ориентированных высокоуровневых компонентов. Перформатив KQML, например, используется как контейнер для онтологий, параметрических ответов, представления функции желательности результатов, и т.д.

## **2 МОДЕЛИ АГЕНТОВ И МОДЕЛИ КООПЕРАЦИИ**

Модели кооперации предоставляют среду для формализации поведения исполнителей, находящихся в процессе кооперации, в окружении, провоцирующем исполнителей для участия в исполнении бизнес процессов. Модели организации и бизнес процесса обсуждаются далее в разделе 2.1. Модели координации кооперативного исполнения бизнес-процесса являются предметами секций 2.2 и 2.3. Модель мониторинга действий организационного блока представлена на Рис. 2.1.4. Модели кооперации являются моделями верхнего уровня в иерархии уровней кооперации. Реализация и детальная проработка этих моделей потребует использования более формализованных и более специфических компонентов нижних уровней: интероперабельности, коммуникации и транспортного уровня. Организация среды кооперации в виде уровней обеспечивает гибкость использования любого доступного альтернативного компонента более низкого уровня.

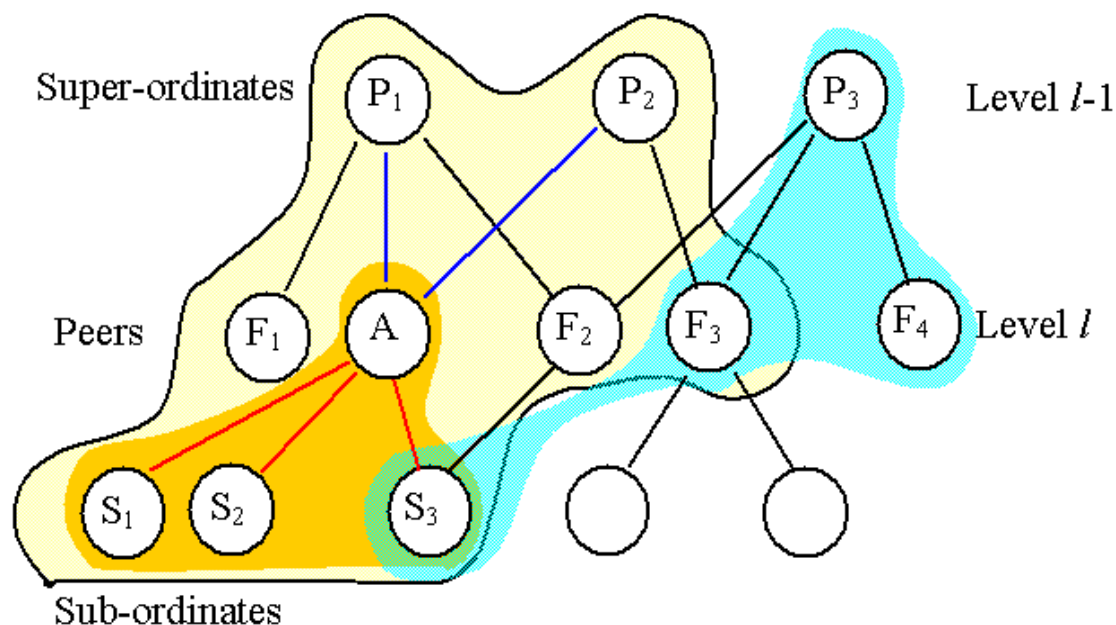
### **2.1 Агент как функциональная система, функциональный компонент.**

#### **Модель исполнения задачи**

Наличие в реальном мире бизнес-процессов ясно отражает тот факт, что не существует в современных организациях таких исполнителей, которые в состоянии выполнять ту или иную работу целиком самостоятельно. Такие работы чаще выполняются в кооперации группами людей и/или искусственных актеров. Каждый из таких исполнителей занимает определенную позицию на том или ином уровне организации и характеризуется своими возможностями, обязательствами, правами. Каждый из исполнителей обладает собственными знаниями о том, что означает та или иная работа, как ее можно разделить на частично упорядоченное множество простых работ, какие из этих работ нужно отдать подчиненным или экспертам. Обычно, исполнение работы инициируется исполнителями более высоких организационных уровней, чьи знания о конкретной задаче являются более общими и абстрактными. Части работы становятся более детальными при переходе по

уровням иерархии организации вниз, к исполнителям с более специфичными возможностями и правами. Работы, являющиеся атомарными для «босса», очевидно, могут рассматриваться исполнителями как сложные задачи. Обычно, на любом уровне, исполнитель кооперируется со своими непосредственными «начальниками», сотрудниками своего уровня и своими подчиненными (если они есть) и совершенно не должен знать всех исполнителей верхних уровней, всех исполнителей своего уровня и всех подчиненных. Если организация имеет структуру в виде графа (как на Рис. 2.1), сфера ответственности актера  $A$  может быть ограничена узлами верхнего ( $P_1$  и  $P_2$ ) и нижнего уровней ( $S_1, S_2, S_3$ ) смежных с  $A$ , а также узлами того же уровня, что и  $A$ , с которыми  $A$  связан через своего «начальника» ( $F_1, F_2, F_3$ ).

Организационный блок (например, отдел) уровня  $l$  состоит из исполнителя уровня  $l$  плюс всех его подчиненных (например,  $\{A, S_1, S_2, S_3\}$ ). Некоторые исполнители могут участвовать в нескольких организационных блоках (напр.,  $S_3$  в  $\{A, S_1, S_2, S_3\}$  на уровне  $l$  и  $\{P_3, S_3, F_3, F_4\}$  на уровне  $l-1$ ). Такие исполнители могут принадлежать к сферам ответственности внешних (по отношению к организации) актеров и могут воспринимать внешние воздействия от членов разных организационных блоков. Исполнители способны воспринимать внешние воздействия через организационные блоки – посредники (Proxies, например,  $A, S_3$ ). Посредник, если рассматривать его извне по отношению к организационному блоку, является простым исполнителем – *функциональным компонентом*. Он представляет организационный блок (*функциональную систему*) в организационном блоке верхнего уровня (например, в системе ADEPT [1] и отделы и индивидуальные исполнители представляются агентами.). Организация, очевидно, является множеством организационных блоков на уровне 1. В соответствии с принципами организационного структурирования (напр, см. [12]) предполагается, что организационный блок есть множество активных сущностей (актеров) обладающих соответствующими возможностями и общающимися в соответствии с данным множеством образцов. Актеры моделируются экономически рациональными [4] программными агентами,



**Рис. 2.1** – Графовая модель организации.

разработанными в рамках [13]. Возможности агента обеспечиваются в виде множества макромодельных программ для исполнения работ [13].

Организации и их функциональные блоки взаимодействуют с внешней средой. Функциональная система обеспечивает окружения для своих функциональных компонентов, которые, в свою очередь, могут распадаться на функциональные системы более низкого уровня. Так как основной миссией организации является выполнение бизнес-процессов, предполагается, что окружение моделируется при помощи генерирующей функции, задающей задачи (*tasks*) T (см. [14] где используется подобная терминология) как множества работ  $w^i$ :

$$E \rightarrow T = \{w^1, w^2, \dots, w^k\} \quad (2.1)$$

Эти задачи воспринимаются посредниками. Организация, таким образом, предназначена для выполнения задач, которые воспринимаются из внешней среды как внешние воздействия.

Предполагается, что задача  $T = \{w^1, w^2, \dots, w^k\}$  есть множество атомарных (для данного актера) работ. Актеры внутри организации в состоянии исполнять атомарные деятельности, принадлежащие к множеству допустимых атомарных работ  $w_A$ . Эти актеры также в состоянии генерировать (под)задачи без внешнего воздействия, а реагируя на некоторые события (внутренние по отношению к организации) или в процессе выполнения той или другой атомарной работы.

Актер  $A$ , участвующий в выполнении задачи, имеет свои собственные предположения на предмет того, как исполнить эту атомарную работу и как много усилий нужно потратить для выполнения работы  $w^j$ , предполагается, что актер обладает некоторой рабочей емкостью  $N_A(w^j)$  по отношению к этой атомарной деятельности.

Под емкостью понимается способность актера выполнить работу за интервал времени  $\tau$ . Емкость может быть неограниченной, в случае, если в любой момент времени  $A$  в состоянии выполнить столько работ  $w^j$  за интервал времени  $\tau$  сколько нужно, и ограниченной, в случае, если максимальное количество конкурентно выполняемых работ  $w^j$  ограничено некоторой верхней границей. В случае, когда емкость  $N_A(w^j)$  ограничена, ее можно распределить по работам  $w^j$ .

Работа  $w^j$  может быть ограничена некоторым крайним сроком (*deadline*)  $d_{w^j}$ . Крайний срок – это момент времени, после которого результаты работы  $w^j$  более не нужны агенту - заказчику. Это означает, что значение функции желательности результатов работы  $w^j$  агентом-заказчиком вычисляется так:

$$des_{w^j}(t, d_{w^j}) = \begin{cases} tdf(t), & t \leq d_{w^j} \\ 0, & t > d_{w^j} \end{cases} \quad (2.2)$$

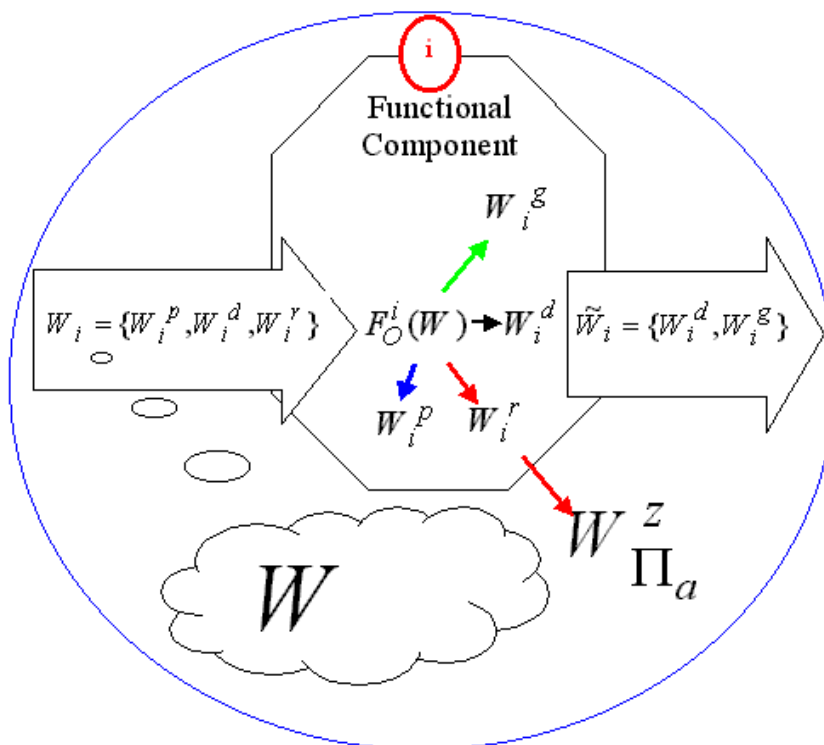
А именно, значение желательности становится равным нулю после того, как крайний срок прошел, и принимает значения  $tdf(t)$  как вознаграждения за работу в разные моменты времени до наступления крайнего срока.

Такие предположения формируют субъективные Частичные Локальные Планы (Partial Local Plans, ЧЛП) для выполнения каждой конкретной атомарной работы. ЧЛП формализуются в виде «легковесных» онтологий задач [15] и представляются в языке Standard OIL [16]. ЧЛП отличаются от глобальных планов (GPGP [17]) в том смысле, что ЧЛП не содержат субъективных представлений о том, какими могут быть действия других актеров. В то же время, обновления информации об изменениях в возможностях актеров, оценок кредитоспособности (*credibility*) проводятся каждым актером индивидуально в процессе их кооперативной деятельности. Актеры вовлечены в кооперативное выполнение задач либо по результатам торгов по назначению задачи или отдельных работ, или путем получения директивы от непосредственного начальника.

После того, как воздействие воспринято актером, он может:

- принять и выполнить некоторые из работ, составляющих задачу;
- отклонить выполнение некоторых работ;
- принять решение о передаче множества работ одному из партнеров, в соответствии со своими представлениями о возможностях партнеров (раздел 2.2.3), кредитоспособности (раздел 2.2.3), и готовности к выполнению работы (раздел 2.2.1);
- потребовать выполнения некоторой новой работы, исполнение которой (согласно знаниям, формализованным виде онтологии задачи) является существенным для успешного завершения всей задачи.





**Рис. 2.2.** Модель функциональной компоненты.

Модель функционального компонента (см. Рис. 2.2) строится на идее «поглощения» и «генерации» работ из множества допустимых работ  $W = \{w^1, w^2, \dots\}$  для этого функционального компонента. Предполагается, что сенсорных вход функционального компонента  $i$  принимает задачу  $W_i \subseteq W$ . Некоторая часть работ  $W_i^p$  может быть выполнена («абсорбирована») данным компонентом и оставшаяся часть работ может быть либо делегирована другим компонентам системы –  $W_i^d$ , либо отклонена –  $W_i^r$ . Функциональный компонент может также генерировать дополнительное множество работ  $W_i^g$  для выполнения работ  $W_i^p$ .  $W_i^g$  так же как и  $W_i^d$  могут делегироваться другим компонентам.:

$$W_i \rightarrow F_O^i(W) \rightarrow \tilde{W}_i, \quad (2.3a)$$

где:  $W_i = \{W_i^p, W_i^d, W_i^r\}$ ,  $\tilde{W}_i = \{W_i^d, W_i^g\}$ ,  $F_O^i(W)$  - макромоделльные программы.

В специальном случае компонент  $i$  может сгенерировать новое множество работ  $W_i^g$  без внешнего воздействия  $W_i$  - т.е. может «вызвать» новую задачу:

$$F_O^i(W) \rightarrow \tilde{W}_i, \quad (2.3b)$$

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

Процесс  $\Pi_a$  исполнения задачи начинается с принятия или генерации новой задачи  $W_a \subseteq W$ . Задача  $W_a$ , так же как и все производные задачи  $\tilde{W}_a$ , рассматривается как связанная с процессом  $\Pi_a$  и помечена уникальным идентификатором процесса. Компонент считается *связанным* с процессом  $\Pi_a$  в случае, если он поглощает часть  $W_a$ ,  $\tilde{W}_a$ , или генерирует  $W_a^g$ .

Процесс  $\Pi_a$  считается завершенным в случае, когда все компоненты прекратили поглощение атомарных работ из задач, связанных с процессом  $\Pi_a$ . Множество работ  $W_{\Pi_a}^z$  не поглощенных процессом  $\Pi_a$  помечается как множество *невыполнимых* работ.

На практике, будем считать множество допустимых работ функционального компонента ограниченным:  $W = \{w^1, w^2, \dots, w^n\}$ .

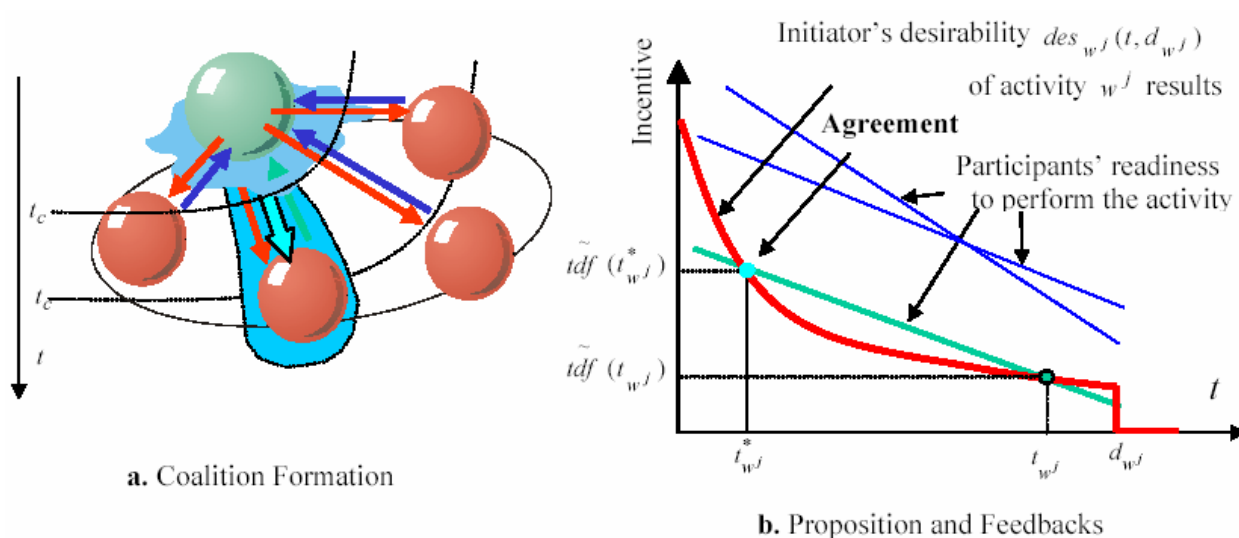
## 2.2 Модели координации

Координация внутри функциональной системе, выполняющей конкурентные задачи является критическим моментом, поскольку предоставляет возможности исполнителям работать согласованно. Модели координации для кооперативного

выполнения задачи решают две главные задачи управления: первая – переговоры при назначении работ и формирование коалиции для решения задачи, и вторая – обеспечение правильного порядка выполнения работ. Другая функция слота координации состоит в обеспечении окружения для мониторинга кооперативного выполнения работ членами организационного блока. Дальнейший анализ результатов мониторинга может обеспечить более точную настройку членов организационного блока, возможностей и поведения функциональных компонентов.

### 2.2.1 Переговоры при назначении работ

Как было показано в разделе 2.1 в описываемом типе организаций не существует исполнителей, выполняющих всю задачу целиком. Каждый исполнитель выполняет работы, которые он в состоянии выполнить, и передает оставшиеся работы своим коллегам. Процедура передачи происходит всякий раз когда возникает такая необходимость. Образец координации для назначения работ называется Фаза Назначения (*Arrangement Phase*). Цель фазы назначения состоит в поиске исполнителя некоторой работы, которая (в соответствии с ЧЛП или из-за перегрузки исполнителя) должна быть передана другому исполнителю. Назначение работ производится путем проведения торгов между Инициатором и группой актеров-участников. Цель Инициатора состоит в исполнении работы наиболее оптимальным образом. Предполагается, что в процессе переговоров о назначении работ Инициатор решает задачу двухкритериальной оптимизации. Первый критерий касается оптимальности времени исполнения работы. Вторым критерий – оптимальная плата (*incentive*), которая должна быть заплачена партнерам за выполнение работы. Инициатор предлагает работу некоторым своим партнерам, которые, как он предполагает, смогут выполнить такую работу и которые являются достаточно кредитоспособными для того, чтобы завершить работу к назначенному сроку. Актеры, при получении предложения о работе, становятся участниками переговоров. Ответы Участников представляются в виде двухточечной ожидаемой оценке стоимости работы и отражают степень готовности к выполнению



**Рис. 2.3** – Фаза Назначения. Переговоры о назначении работы и присоединения к коалиции.

предложенной работы (Рис.4b). Участник готов выполнить работу, если его ответ содержит пересечения с функцией желательности, предложенной Инициатором переговоров. Иначе, он отвергает предложение. Инициатор затем выбирает лучший лот или множества предложенных пересечений своей функции желательности с полученными оценками. Участник, чей лот был признан оптимальным, становится Контрактором (Contractor). Он присоединяется к коалиции исполнения задачи (зеленая линия на Рис. 2.3a) и начинает выполнение работы.

Вступая в коалиции исполнения задачи, актер обязуется следовать нескольким системным правилам, которые регулируют уровень между бескорыстностью и своими интересами. Такие правила могут быть классифицированы, следуя гипотезе Дженнинга о Традициях и Требованиях (Commitment-Convention hypothesis [18]) как индивидуальные и коалиционные требования, и коалиционные традиции:

*Правило 1:* Требование относительной кооперации. Члены коалиции подтверждают свое относительное стремление при кооперации достичь общей цели: выполнить задачу с максимально возможной эффективностью (максимальным

качеством, сбалансированной нагрузкой, минимальным временем, ...). Исполнение этого требования зависит от разногласий между персональными намерениями актера и общей целью коалиции задачи.

*Правило 2:* Традиция при назначении работ. На фазе назначения участник коалиции, предлагающий работы (Инициатор) обязывается предоставить правдивую информацию о функции желательности результатов. С другой стороны, участники торгов должны отправить правдивую информацию о степени готовности к исполнению работы, путем сообщения информации о разделяемой емкости, которая будет потрачена на выполнения задачи [13].

*Правило 3:* Требование доставки результатов. С момента, когда актер принимается за выполнение работы, он обязуется безусловно закончить эту работу и предоставить результату сразу же по ее окончании.

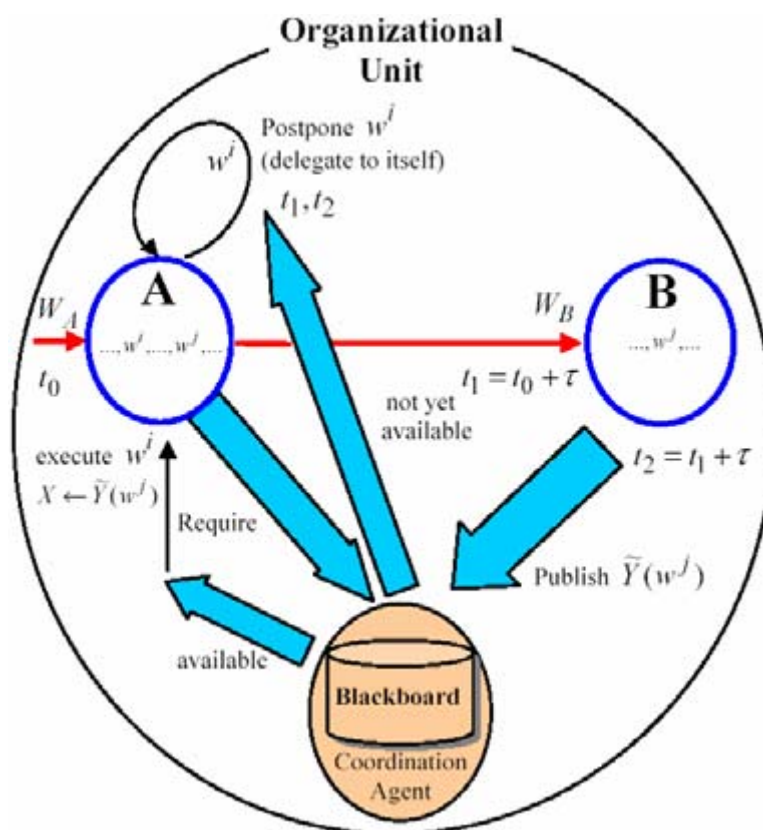
### 2.2.2 Координация потока работ

Работы, выполняемые в процессе исполнения задачи, могут быть неявно зависимыми друг от друга (как, например, в *TÆMS* [17]) сильно связанными – работа  $w^i$  существенно зависит от результатов работы  $w^j$  в случае, если результаты работы  $w^j$  являются необходимыми для начала работы  $w^i$ , или слабо связанными – работа  $w^j$  облегчает исполнение работы  $w^i$ . Таким образом, поток работ ограничен отношением частичного порядка. Иногда такой поток может содержать итеративные или рекурсивные циклы. Актер может генерировать подзадачу, содержащую, или приводящую к выполнению атомарной работы, которая в конце концов будет назначена этому же актеру. Координация последовательности выполнения работ нужна для управления эффективностью и согласованностью выполнения потока работ так же как и для всей задачи.

Модель координации последовательности выполнения работ базируется на использовании зависимостей между работами. Субъективные знания о таких

зависимостях находятся в ЧЛП актеров и формализованы в виде онтологии задачи. Работа  $w^i$  должна быть выполнена после того, как работа  $w^j$  началась (в случае слабой зависимости  $w^i$  от  $w^j$ ), или закончилась (в случае сильной зависимости). Иначе, работы  $w^i$  и  $w^j$  могут выполняться параллельно. Таким образом, существенным является предоставление результатов отдельных работ публично на доске объявлений. В данной работе такая доска объявлений контролируется специальным агентом – Агентом Координации (Coordination Agent, CoA). Исполнители, завершившие выполнение своих работ, публикуют результаты на доске объявлений CoA. Актеры, собирающиеся выполнить работы, зависящие от других, обращаются к CoA за нужными данными. В том случае, если эти результаты доступны на доске объявлений, они в дальнейшем могут использоваться как параметры для целевой работы. Иначе, целевая работа откладывается до следующего момента времени  $t + \tau$  (см. Рис. 2.4).

Пусть в момент времени  $t_0$  актер  $A$  соглашается выполнить задачу  $W_A = \{w^i, w^j\}$ . После декомпозиции и анализа  $W_A$   $A$  решает выполнить работу  $w^i$  самостоятельно и передать работу  $w^j$  партнерам. После завершения фазы назначения,  $A$  передает работу  $w^j$  актеру  $B$  и начинает выполнение работы  $w^i$ . ЧЛП актера  $A$  для  $w^i$  указывает, что  $w^i$  сильно зависит от  $w^j$ .  $A$  запрашивает результаты  $\tilde{Y}(w^j)$  у CoA и, т.к. они еще не готовы, приостанавливает исполнение работы  $w^i$  до момента  $t_1$ . Тем временем,  $B$  исполняет  $w^j$ , в точно запланированное время ( $1 \times \tau$ ) и публикует результаты  $\tilde{Y}(w^j)$  у CoA. К моменту времени  $t_1$   $\tilde{Y}(w^j)$  уже являются доступными. В следующий момент времени  $A$  запрашивает результаты  $\tilde{Y}(w^j)$  у CoA еще раз, получает их и использует  $\tilde{Y}(w^j)$  в качестве параметров для  $w^i$ .



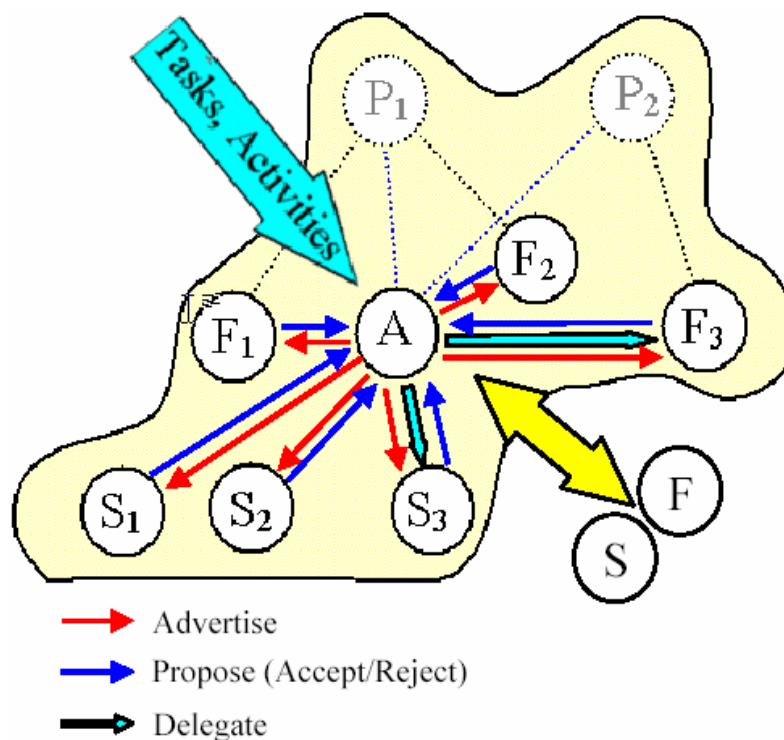
**Рис. 2.4** – Координация последовательности выполнения работ. Предполагается, что  $w^i$  сильно зависит от  $w^j$ .

### 2.2.3 Оценки возможностей и кредитоспособности

Посредники собирают знания о возможностях своих экспертов и подчиненных в процессе их совместного выполнения входящих задач. Новые порции этих знаний появляются всякий раз, как посредник выполняет фазу назначения работ для передачи работы исполнителю из своей сферы ответственности (см. Рис. 2.5), таким образом обновляются предположения посредника о возможностях своих партнеров. Эти предположения автоматически поддерживаются каждым посредником в форме Матрицы Ожидаемых Возможностей:

$$C = \begin{matrix} F_1 \\ \dots \\ F_n \\ S_1 \\ \dots \\ S_m \end{matrix} \begin{bmatrix} w^1 & \dots & w^j & \dots & w^k \\ c_1^1 & & c_1^j & & c_1^k \\ & & \dots & & \\ & \dots & c_i^j = (q_i^j, p_i^j) & \dots & \\ & & \dots & & \\ c_{n+m}^1 & & c_{n+m}^j & & c_{n+m}^k \end{bmatrix}, \quad (2.4)$$

Где размерности  $n+m$  и  $k$  изменяются в процессе эволюции актера, отражая появление новых работ и партнеров в сфере ответственности посредника. Оценки возможностей  $c_i^j$  изменяются каждый раз когда Посредник проводит переговоры с партнерами по поводу передачи работы. Элемент  $q_i^j$  в кортеже  $c_i^j$  указывает количество проведенных переговоров с агентом  $i$  относительно работы  $w^j$ . Элемент



**Рис. 2.5** – Взаимодействия, поставляющие новые знания для уточнения представлений о возможностях партнера.



$q_i^j$  указывает на оценку возможностей. Правило для обновления  $c_i^j$  такое:

$$\begin{aligned} 1. \quad p_i^j &\leftarrow p_i^j + \frac{r}{q_i^j}, \\ 2. \quad q_i^j &\leftarrow q_i^j + 1 \end{aligned} \quad (2.5)$$

где  $r$  равняется: 0 если партнер отказался от работы, 0.5 если партнер ответил, что он может принять на себя выполнение работы, 1 если работа была передана этому актеру.

Второй аспект, влияющий на решение посредника о передаче работы тому или иному участнику переговоров, есть оценка *кредитоспособности* участника. Ориентированный на собственную выгоду актер при появлении новой привлекательной работы или в соответствии со своим поведением, может занизить первоначально объявленную емкость для других исполняемых работ. Это приведет к увеличению продолжительности исполнения таких работ и может существенно понизить желательность результатов этих работ для своих заказчиков (см. Рис.7) и, таким образом, снизить значение кредитоспособности актера.

Механизм вычисления значений кредитоспособности актеров является подобным предыдущему механизму оценки возможностей (2.4). Оценки кредитоспособности изменяются всякий раз как актер изменяет свои субъективные предположения путем сравнения функций желательности (см. Рис. 2.6) вычисленных по:

- ~ продолжительности времени исполнения работы, на которую согласился исполнитель на фазе назначения,
- ~ реальному времени, затраченному исполнителем для получения результата.

Соответствующие элементы матрицы кредитоспособности пересчитываются по таким формулам:

$$Cr_{i,j} := Cr_{i,j} \times \begin{cases} 1, t_r \leq t_a \\ p_{w^j}(t_a/t_r), t_a < t_r \leq d_{w^j} \\ 0, t_r > d_{w^j} \end{cases}, \quad (2.6)$$

где:  $t_a$  – это время, на которое участники переговоров договорились выполнить  $w^j$ ,  $t_r$  – это реальное время выполнения  $w^j$ ,  $d_{w^j}$  – крайний срок и  $p_{w^j}$  – весовой коэффициент характеризующий текущий уровень приоритета для заказчика работы.

### 2.2.4 Мониторинг и анализ производительности элемента организации

Назначение моделей представленных в разделах 2.2.1-2.2.3 состоит в эффективном назначении и исполнении текущей задачи. Переговоры о назначении работ, координация выполнения потока работ, ожидаемые возможности и кредитоспособность актеров предназначены для оптимального исполнения задачи путем неявного использования знаний о возможностях актеров, рабочей нагрузке и особенностях их поведения. В то же время ответ на вопрос о том, обладает ли

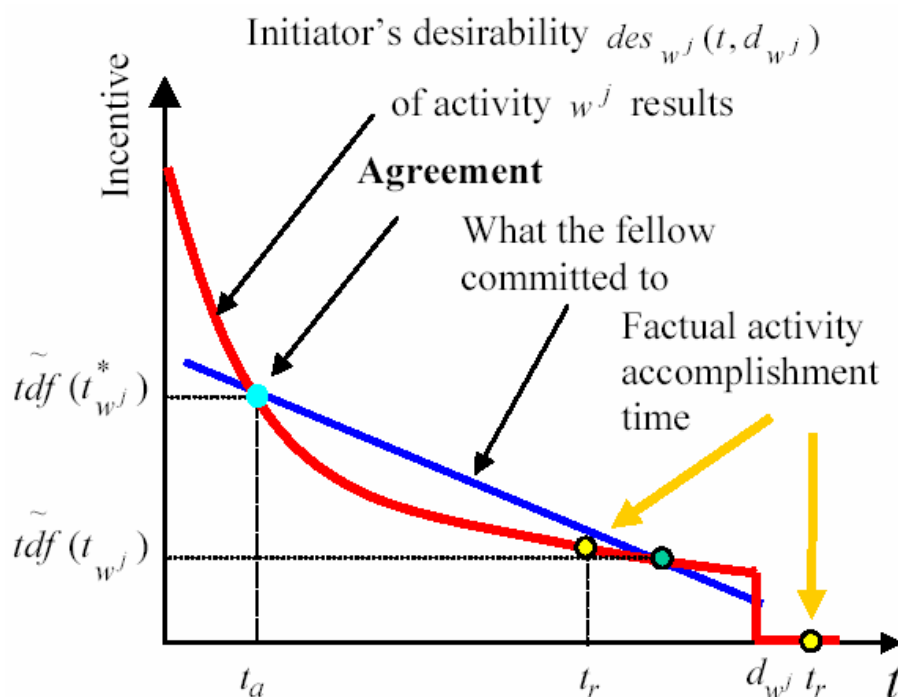


Рис. 2.6. – Входные значения для регулирования кредитоспособности партнера.

организационный блок достаточным количеством ресурсов и возможностей для выполнения типичных задач может быть получен только мониторингом общей производительности блока за некоторый промежуток времени.

Цель модели мониторинга состоит в обеспечении оболочки для анализа того, является ли организация блока (состав, возможности исполнителей, их емкости) оптимальной для исполнения задач, наиболее часто принимаемых на исполнение данной организацией. Функция мониторинга возложена на агента координации CoA. CoA отслеживает свой организационный блок путем поддержки упрощенной модели потока задач, для которой члены организационного блока информируют CoA о своих состояниях.

CoA поддерживает  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_\sigma\}$  - множество допустимых работ для организационного блока. CoA также обновляет Матрицу Совместных Состояний в каждый момент времени работы функциональной системы. Процесс моделирования производится на двух уровнях.

**На верхнем уровне** совокупность всех состояний функционального компонента объединяется в согласованную модель состояний системы в момент времени  $t_n + \tau$ . Согласованная модель представляется в виде матрицы  $\Omega(t_n + \tau)$  размерности  $m \times \sigma$ , где  $m$  – количество функциональных компонентов в системе, и  $\sigma$  – количество работ в  $W$ . Строки матрицы  $\Omega$  есть вектора  $\Theta_i = \{k_1, k_2, \dots, k_j, \dots, k_\sigma\}$  отражающие состояния компонентов, а  $k_j$  состояние компонента  $i$  с учетом исполнения работы  $w_j$ :

$k_j = 0$  - функциональный компонент выполняет работу  $w_j$ ;  $k_j = l > 0$  - функциональный компонент выполняет работу  $w_j$  и  $l$  таких же работ ожидают своей очереди;  $k_j = l < 0$  - функциональный компонент был в состоянии, но не был назначен для выполнения работы  $w_j$  (состояние ожидания).

Матрица Совместных Состояний  $\Omega(t_n + \tau)$  формируется из Матриц Состояний Компонентов  $\mathbf{K}_i$  (размерности  $m \times \sigma$ ) представляющих состояния функциональных компонентов. Матрицы  $\mathbf{K}_i$  предоставляются функциональными компонентами и используются как входные параметры для формулы:

$$\Omega = \sum_{i=1}^n \mathbf{K}_i, \quad (2.7)$$

Дополнительно, вектор задержек работы  $D_a$  обновляется агентом CoA в случае если одна или более работ  $w_j$  из  $W_i$  были отложены каким-либо функциональным компонентом:

$$D_a[j] = D_a[j] + 1, \quad (2.8)$$

**На нижнем уровне** составление  $\mathbf{K}_i$  выполняется каждым функциональным компонентом.  $\mathbf{K}_i$  обновляются в соответствии с результатами анализа входящих работ, декомпозиции, и принятого решения об их исполнении (выполнить или передать). Элементы  $\mathbf{K}_i$  получают такие значения для адекватного отображения производительности функционального компонента в течение интервала времени  $]t_n, t_n + \tau]$ :

$k_{lj}, l \neq i$ :      **1** - компонент  $i$  передает работу  $w^j$  компоненту  $l$

**0** - иначе

$k_{ij}$ :              **-1** – компонент принял решение, или был назначен

на выполнение, или продолжает выполнение работы  $w^j$   
в течение интервала времени  $]t_n, t_n + \tau]$

**1** - компонент  $i$  отложил работу  $w^j$  путем передачи ее самому себе

**0** - компонент  $i$  не в состоянии выполнить работу

$w^j$  за данный интервал времени  $]t_n, t_n + \tau]$ .

Собранная CoA информация может в дальнейшем использоваться администраторами-людьми для оптимизации настройки организации - уточнением возможностей, емкостей агентов, состава организационного блока.

### **3 ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ АГЕНТОВ**

Компоненты уровня интероперабельности обеспечивают унифицированную среду для исполнителей, для того чтобы они были в состоянии вести себя одинаковым образом. На данном уровне определяются унифицированные протоколы взаимодействия, общения и общие концепции. Уровень интероперабельности, будучи более специфичным, по сравнению с более абстрактным уровнем кооперации, накладывает больше ограничений на исполнителей. Исполнители рассматриваются как агенты, а организационные блоки рассматриваются как Мульти-Агентная Система (МАС), которая в состоянии использовать протоколы, политики общения и общие концепции, определенные в данном разделе.

Компоненты Inter-agent operability в дальнейшем будут рассмотрены с двух тесно связанных, но различных точек зрения – операционной и семантической.

#### **3.1 Обеспечение операционной интероперабельности**

Операционный аспект состоит из интерфейсов и правил для интер-агентского взаимодействия, формализованных в виде протоколов.

##### **3.1.1 Протоколы**

Предлагаемая среда предполагает, что любой протокол взаимодействия (например, протоколы FIPA) между агентами может быть использован для совместного исполнения задач. Предполагается, что протокол, в отличие от образца для общения (раздел 3.1.2) является более сложным и более специфичным, а также может состоять из образцов для общения коммуникационного уровня.

В рамках данного исследования используется слегка упрощенный вариант протокола FIPA CNP для переговоров о назначении работы (см. Рис. 3.1). Протокол состоит из двух образцов для общения (раздел 3.1.2): параметрический запрос с

анализом результатов (фазы презентации (Advertise) и принятия/отклонения (Propose/Reject) ) и директива (Принятие решения, Ассерт Proposal)

### 3.1.2 Шаблоны диалогов и параметрические отклики

С учетом того, что в уровне архитектуры разрешается подключать к свободным слотам любые подходящие формализмы общения, можно выделить два разных образца для общения: *директива* и *параметрический запрос с анализом результатов*.

Директива предназначена для безусловного воздействия на выбранного исполнителя. Использование директивы означает, что актер, выдающий директиву, уверен, что актер, принимающий директиву, в состоянии безусловно ее выполнить работу, содержащуюся в директиве и вернуть результаты. Примером общения в виде директивы может быть передача результатов выполнения работы исполнителем (актером, издающим директиву) актеру CoA (исполнителю). Диаграмма для такого типа общения показан на Рис. 3.2а. Параметрический запрос с анализом результатов означает запрос, в котором и входные параметры и результаты представляются в параметрическом виде. Примером общения, выполняемого с помощью параметрического запроса с

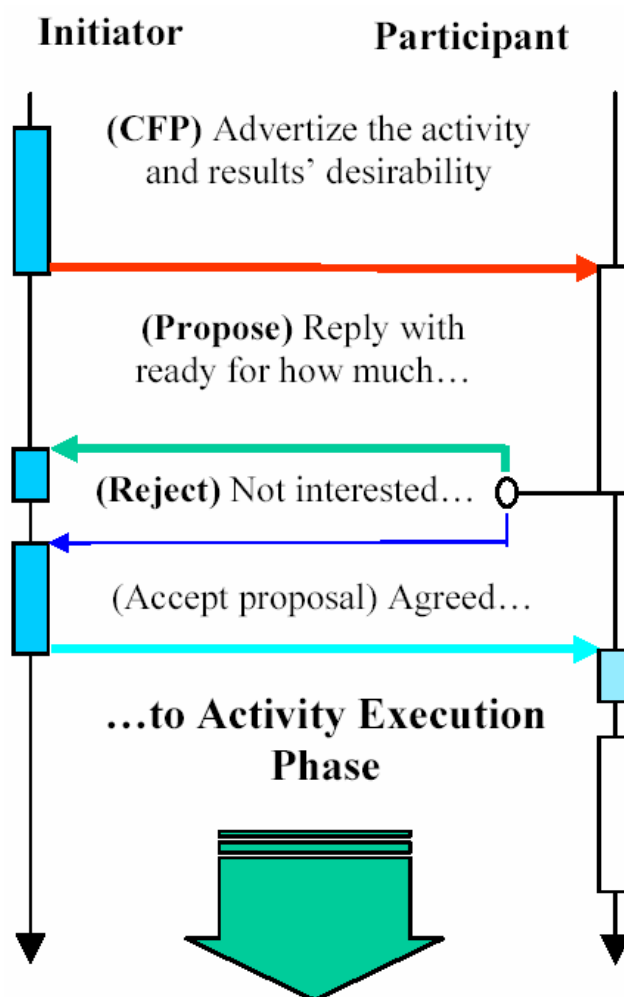
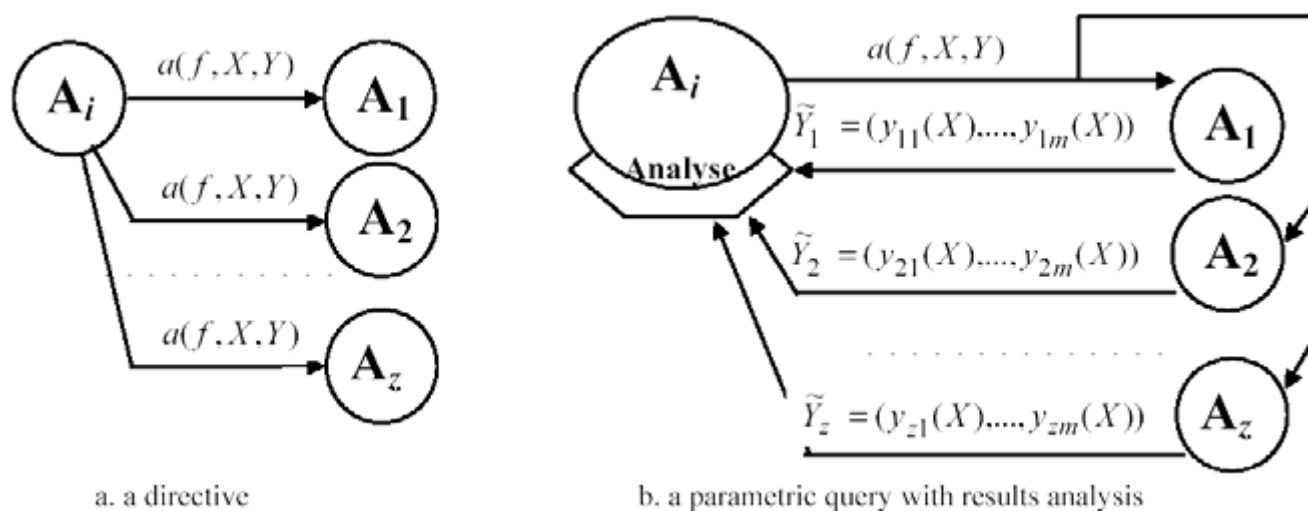


Рис. 3.1 – Протокол Фазы Назначения.



**Рис. 3.2** – Диаграммы шаблонов диалога.

анализом результатов есть первая часть протокола назначения работы. Диаграмма для этого типа общения показана на Рис. 3.2b.

Механизм общения с помощью параметрических запросов основывается на использовании *параметрических откликов*. При переговорах о назначении работ, например, Инициатор представляет работу ( $f$  на Рис. 3.2b) с помощью функции желательности результатов  $des$  (2.2) в параметрической форме (в виде таблицы значений) вместе с параметрами самой работы  $X^*$  ( $X = \{des\} \cup X^*$  на Рис. 3.2b). Ответы участников представлены в виде двухточечных параметрических предложений ( $\tilde{Y}_1, \tilde{Y}_2, \dots, \tilde{Y}_z$  на Рис. 3.2b). Эти предложения анализируются Инициатором (см. раздел 2.2.1). Более детально формализм параметрических откликов описан в [13].

Образцы общения должны конструироваться из соответствующих образцов общения уровня коммуникации.

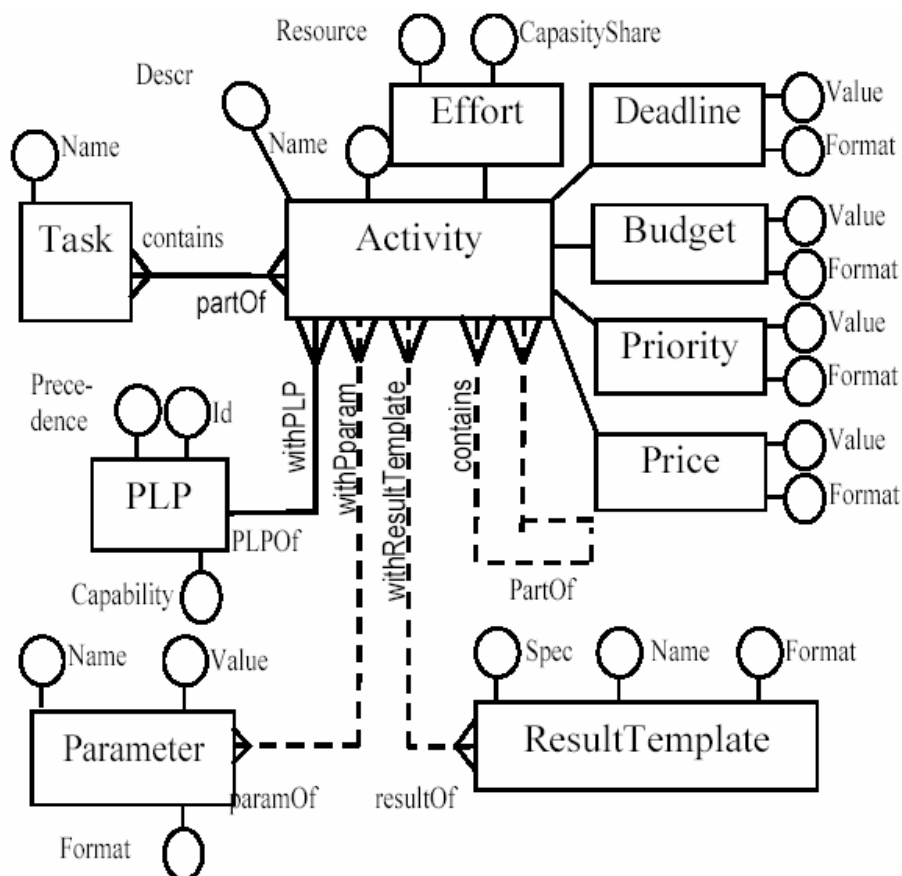
### 3.2 Обеспечение семантической интероперабельности

Семантический аспект определяет общие концепции в онтологиях, тем самым, формализуя те знания, которыми обладает МАС и которыми пользуются агенты в



процессе исполнения задач. Онтологии Задачи и Переговоров были определены на языке Standard OIL [19] для представления общей концептуализации для моделирования совместного исполнения задач коалицией агентов – участников организационных блоков. Разработка таких онтологий была обусловлена в первую очередь свойством нечеткости B2B E-Commerce, а также необходимостью установления баланса между заинтересованностью в личной выгоде, бескорыстием и рациональностью. Роль онтологии Задачи состоит в обеспечении общих концепций задачи, работы, параметра, образца результата, усилий, приоритета, крайнего срока, бюджета и ЧЛП для выполнения работы. Эти концепции используются агентами-исполнителями для определения того, являются ли приходящие работы атомарными, в состоянии конкретный агент выполнить эту работу, соответствуют ли предложенные параметры и ожидаемые результаты тем знаниям об этой работе, которыми обладает данный агент, нужна ли поддержка партнеров для выполнения работы. Диаграмма в стиле ER-подхода для онтологии Задачи показана на Рис. 3.3.

Онтология Переговоров обеспечивает общую концептуализацию для терминов , используемых агентами в процессе переговоров о назначении работ. Тип переговоров для фазы Назначения – контракт. Подход к проведению переговоров, используемый в данной работе, отличается от других сред контрактования, тем, что используется параметрические отклики об ожидаемой выгоде. Такая параметризация обеспечивает большую гибкость поведения агентов и позволяет проводить переговоры итерационно. Общие концепции онтологии Переговоров таковы: работа, желательность результатов, предложенный крайний срок, время и размерность времени, оценка выгоды, точка функции выгоды, отклик. Диаграмма в стиле ER-подхода для онтологии Переговоров показана на Рис. 3.4.



**Рис. 3.3** – Диаграмма онтологии задания.

Редактор онтологий OilEd 2.2a<sup>1</sup> и машина вывода FACT<sup>2</sup> были использованы для создания и проверки выразительной силы онтологий. OIL, RDFS, DAML и SHIQ версии онтологий Задачи и Переговоров доступны на [http://eva.zsu.zp.ua/eva\\_personal/ontologies/](http://eva.zsu.zp.ua/eva_personal/ontologies/). Дальнейшие подробности разработки и использования данных онтологий можно найти в [15]

<sup>1</sup> Freely downloadable from <http://img.cs.man.ac.uk/oil/>. Last accessed on Nov. 3, 2001.

<sup>2</sup> <http://www.cs.man.ac.uk/~horrocks/FaCT/>. Last accessed on Nov. 3, 2001.

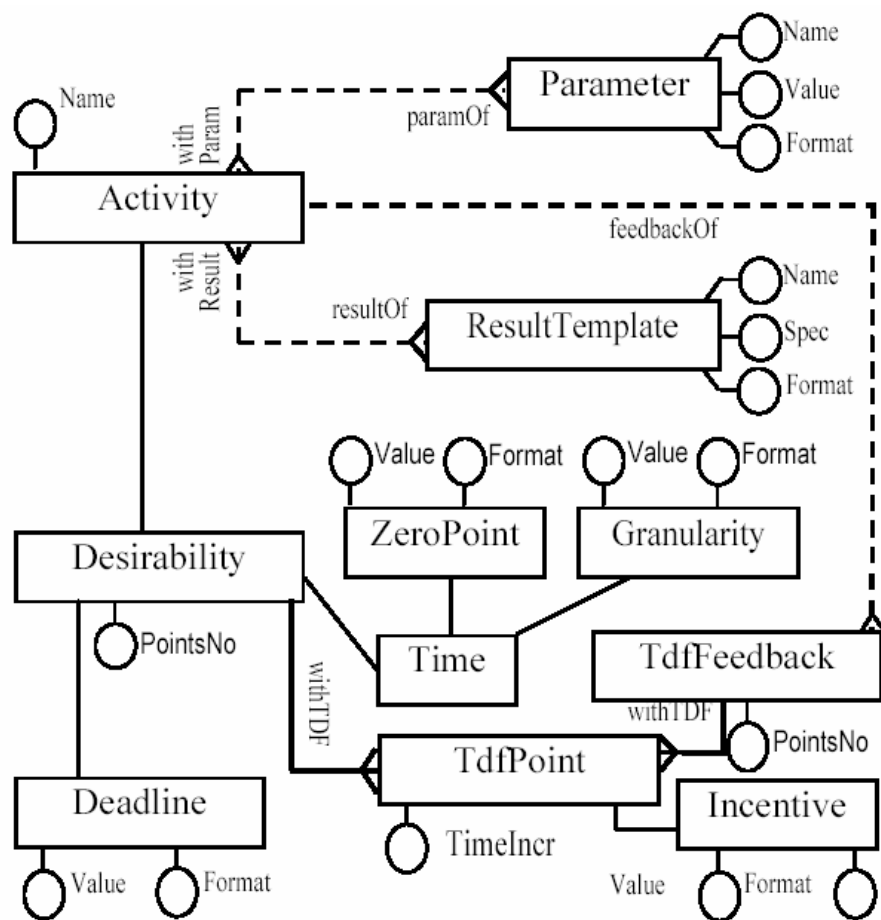


Рис. 3.4 – Диаграмма онтологии переговоров.

## 4 ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Несмотря на то, что среды для кооперации между рациональными автономными исполнителями выполняющими или управляющими бизнес процессами в открытых распределенных организациях в том виде, какой предложен в данной работе, не были до сих пор предложены, существует множество исследований и успешных реализаций в подобных областях. Неполный обзор исследований представлен по уровням структурной организации, предложенной в данной работе.

### 4.1 Модели кооперации

В работе [20] подчеркивается, что “...Центральным в изучении кооперации является понятие *социальной структуры*. Социальная структура – это множество отношений, которые наблюдаются между агентами в обществе. Эти отношения определяют зависимости, которые возникают между агентами ... и определяют права и обязанности каждого агента в обществе во взаимоотношениях с коллегами. Для эффективной кооперации с коллегами агент должен иметь репрезентацию тех социальных структур, в которых он участвует, и делать логические выводы над такими представлениями. Процесс логического вывода используется для ответа на вопросы о возможности кооперации, а также для выяснения своего положения по отношению к другим агентам в сообществе...”. Социальные структуры рассматриваются как организации в области управления и выполнения бизнес-процессов.

Основные концептуальные модели организации, исполнителя, бизнес-процесса (задачи) могут быть найдены в [21], [22], [23] и в др. источниках. Абстрактное представление *кооперирующих структур*, в которых агенты взаимодействуют для достижения целей от имени друг друга и обоснование осуществимости такой кооперации приведены в [20]. Децентрализованная декомпозиция задачи на работы и механизмы размещения работ показываються в [24], [25]. Подробный обзор

походов к переговорам при предоставлении распределенных сервисов можно найти в [26]. В области E-Commerce, например, предложены модели (см. работу [3]) формирования коалиции, основанные на пред- и постпереговорах, которые тестируются в COALA<sup>3</sup> - среде общего назначения для изучения коллективного поведения в коалициях агентов. В работе [27] исследуются методы для размещения задач, основанные на формировании коалиции агентов. Подход используемый в данной работе близок к подходу переговоров, ориентированных на сервисы [28], который включает определение контракта с конкретными условиями и сроками. Механизмы предоставления сервисов путем проведения переговоров, обсуждаемые в данной работе, близки к механизмам, предложенным в ADEPT [29], хотя исследованы были и более авторитарные алгоритмы [30]. Среда для переговоров, основанных на аргументации (argumentation-based negotiation) представлена в [31]. Емкостной подход (capability based approach) к нахождению подходящих сервисов (например, [32]) предложен для определения нужного кандидата на роль сервис-провайдера. Методы для выравнивания (adjusting) поведения агентов в кооперативном окружении, основанные на обучающих техниках, предложены в [33], [34], [35]. Образцы координации и языки предложены в [17], [36]

#### **4.2 Вопросы интероперабельности в организациях, сообществах и коалициях агентов**

Общее понимание интероперабельности агентов, данное в [37], основывается на трех главных характеристиках, используемых всеми интероперабельными агентами.

“...Они должны достичь согласия по синтаксису и семантике общего языка коммуникации агентов (ACL) на котором они должны представить себя (т.е., должна быть *языковая* интероперабельность)”.

---

<sup>3</sup> <http://www.cs.cmu.edu/~softagents/coala.html>. Last accessed on Apr. 10, 2001.

“...Они должны использовать (возможно, путем трансляции) общую онтологию содержимого, теорию истинности и метод привязки объектов к переменным (т.е., должна быть *логическая* интероперабельность)”.

“..Они должны быть в состоянии обратиться к множеству общих инфраструктурных сервисов для регистрации, надежной доставки сообщений, именования агентов и т.д. (т.е., должна быть *структурная* интероперабельность)”.

Вопросы кооперации и координации еще не рассмотрены в этих широко известных и согласованных подходах к интероперабельности, хотя и был сделан акцент на семантику. В рамках среды, представленной в данной работе, синтаксические аспекты *языковой* интероперабельности относятся к Уровню Коммуникации, требования *логической* интероперабельности являются частью слота семантической интероперабельности, вопросы *структурной* интероперабельности являются субъектом Транспортного Уровня. Пропущенные высокоуровневые “...целенаправленные диалоги между агентами...” (цит. из [37]) составляют слот операционной интероперабельности как протоколы взаимодействия и образцам общения.

#### **4.2.1 Общение и протоколы взаимодействия**

Роль операционного аспекта в контексте агентской интероперабельности состоит в предоставлении средств для корректного, повсеместно понимаемого расписания коммуникативных актов между агентами для достижения организационной или коалиционной цели – для выполнения задачи с максимальным достижимым качеством. В [38] предлагается заключить общение между агентами в “... контекст поддающейся количественному подсчету, зависящей от планирования мульти-агентской координации...”. В этом контексте протоколы взаимодействия могут быть обозначены как специфичные образцы координации на основании базовых средств общения между агентами в процессе выполнения задачи. В [39] дополнительно предлагается сконцентрироваться на протокол-ориентированной

формулировка семантики ACL в соответствии с фактом, что "...спецификация протокола значительно менее сложна, чем интуитивное определение; интероперабельность отдельно разработанных компонентов через протоколы с четкой семантикой существенно улучшается; появляется возможность повторного использования рекуррентных обменов информацией; облегчается верификация соответствия со стандартом...".

Политики общения обычно обозначается как декларативные спецификации, которые управляют коммуникациями между агентами, и четко отделяются от механизмов передачи сообщений. Общение, таким образом, может быть обозначено в виде ACL конструкций, к которым применяются ограничения политики общения. Политики диалогов обычно понимаются как общие ограничения на семантически когерентное поведение ACL как носителя сообщений. Авторы [14], исходя из своего опыта в реализации инфраструктуры InfoSleuth, утверждают, что аспекты спецификации политик диалогов, затрагиваемые на уровне типов диалогов, включают: спецификацию диалога на основе ролей, политики местоположения агентов и передачи сообщений, политики управления для расширенных (более сложных) диалогов.

Диалоги агентов (цит. из [14]) подразделяются на два уровня: расширенные диалоги, которые включают все взаимодействия между агентами и типами агентов, относящиеся к некоторому общему заданию, выполняемому от имени пользователя, и индивидуальные, локализованные диалоги между парами конкретных агентов, которые составляют компоненты расширенных диалогов. В данной терминологии со структурной точки зрения представленный в работе слот протоколов взаимодействия агентов может быть определен как слот для расширенных диалогов.

В [40] предлагается ввести служебный слой инкорпорированных менеджеров диалогов для того, чтобы усилить возможности высокоуровневой коммуникации.

### 4.2.2 Семантическая интероперабельность

Большие усилия прилагаются для решения проблем унификации и гармонизации средств достижения семантической интероперабельности, выработки общих концепций и образцов общения, описания процессов и средств предоставления сервисов. Исследования по данному вопросу в области управления распределенными процессами и сервисами делятся на три потока.

Большая часть усилий по стандартизации в областях моделирования потоков работ, управления процессами принадлежит WfMC<sup>4</sup>. Основные достижения WfMC в данной области таковы: Модель Процесса – представление потоков работ, XPDL – привязка PDL к XML. Решение по семантической интероперабельности рассматривается в WfMC как привязка потока работ к XML (Workflow-XML binding).

Как было указано в [22], "...кооперация и координация планирования, мониторинга и потоков работ, возникающих в организации может быть сопровождена четкой общей моделью того, что является планом, процессом, работой...". Известны усилия, нацелены на определение базовых общих концепций: SPAR [22] онтология, онтология предприятия [21], язык спецификации процессов [23] (упорядоченные иерархии работ), ToVE [41] (общая терминология для виртуального предприятия), агрегация работ на разных уровнях [42], исследования по манипулированию планами выполнения задач O-Plan [43] и др.

Существенные результаты появились в разработке языков для разметки сервисов. Решение, предложенное в рамках инициативы DAML+OIL [44] обещает самые светлые перспективы, также как и языки, основанные на RDF(S) – стандарте метаданных W3C<sup>5</sup>.

---

<sup>4</sup> Workflow Management Coalition. <http://www.wfmc.org/>. Last accessed on Nov. 4, 2001

<sup>5</sup> World Wide Web Consortium. <http://www.w3c.org>. Last accessed on Nov. 4, 2001.



### 4.3 Механизмы коммуникации агентов

Определение места и роли коммуникационных примитивов и роль коммуникационных примитивов в протоколах взаимодействия – образцах общения – иерархии коммуникативных актов все еще нуждается в конкретизации. Некоторые авторы (например, КАoS [45], [46]) рассматривают протоколы диалогов (образцов общения) как ключевые элементы для спецификации общения между агентами. Такой подход нашел свою реализацию в предложении по усовершенствованию KQML [9]. Среда InfoSleuth также использует образцы общения как базовые элементы для коммуникации между агентами и средствами интероперабельности[8]. Другие авторы предлагают альтернативный подход к семантике базового языка коммуникации между агентами на основании протоколов взаимодействия и перформативов с интуитивными описаниями на уровне примеров [39]. Тенденция (которой придерживается FIPA, с точки зрения авторов) состоит в предоставлении высокоуровневых образцов общения, протоколов взаимодействия и сред координации путем комбинирования и агрегации более примитивных, формальных и стандартизованных коллекциях коммуникативных актов, специфицированных на ACL. Один из подходов для формализации коммуникаций и коммуникационных примитивов есть использование сетей Петри (и раскрашенных сетей Петри)[40].

Реализации уровня коммуникаций хорошо описаны в обзорной статье Yannis Labrou, Tim Finin, и Yun Peng [47]. Самые большие усилия по стандартизации в данной области проводятся организацией FIPA (например, [10]).

### 4.4 Транспортные среды и сервисы

Относительно транспортной среды общее согласие было достигнуто в том, что она должна предоставить среду для именования агентов, определения местоположения и механизмов доставки сообщений. В соответствии с Моделью Транспортного Сервиса FIPA [48] агенты в открытой организации ограничены агентскими платформами (АП) и обмениваются сообщениями через транспортные

сервисы своих АП. Механизм, предложенный FIPA как стандарт для разных сетевых протоколов, есть использование Конвертов (Envelopes). В настоящий момент существуют спецификации для ПОР [49] и WAP [50].

## ВЫВОДЫ

Кооперация при выполнении бизнес-процессов автономными, распределенными актерами, обладающими рациональным и иногда противоречивым поведением, в открытой организации является достаточно сложным вопросом. Несмотря на то, что Inverno, Luck и Woldridge считают кооперацию “несомненно наиболее хорошо изученным процессом в исследованиях по МАС” (цит. по [20]), в данной области все еще есть много открытых проблем. Одной из самых сложных проблем является отсутствие консенсуса в том, как все это должно быть организовано и структурировано. Главной целью данного исследования является предложение четырехуровневой среды кооперации для агент-ориентированного управления бизнес-процессами. Основная цель данной работы состоит не в том, чтобы сказать последнее завершающее слово в данных исследования, а в том, чтобы проанализировать основные направления и то, как они организуются в концептуальную иерархию. Исследование, на котором базируется данная работа, доказывает (см. разделы 2 и 3), что в предложенном делении на уровни есть рациональное зерно, в частности, для области управления бизнес-процессами и выполнения бизнес-процессов. С другой точки зрения, обзор существующих исследований (раздел 4) показал, что существенных разногласий между другими работами и данным исследованием нет. Дальнейшая работа по данному исследованию будет заключаться в дальнейшей верификации, разработки и реализации агент-ориентированной среды кооперации.

## ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. J. Moore, R. Inder, P. Chung, A. Macintosh, and J. Stader: "Who Does What? Matching Agents to Tasks in Adaptive Workflow."; In Proceedings of the 2nd International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2000), B. Sharp, J. Cordeiro, and J. Filipe (eds), Stafford, July 2000, pp 181-185, ISBN 972-98050-1-6.
2. Richard Scott, W.: Organizations: Rational, Natural and Open Systems. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, NJ (1987)
3. Tsvetovat, M., Sycara, K., Chen, Y., Ying, J.: Customer Coalitions in the Electronic Marketplace. In: Proc. of Agents 2000 Conference, Barcelona, Spain (2000)
4. Nwana, H. S.: Software Agents: an Overview. Knowledge Engineering Review 11(3) (1996) 205–244
5. BPML.org, Business Process Modeling Language (BPML), Working Draft 0.4, August, 2001, <http://www.bpmi.org> last accessed 12.01.2002.
6. S. U. Borue, V. A. Ermolayev, N. G. Keberle, S. L. Plaksin, V. A. Tolok Mathematical Models and Methods for the Description and for the Interaction of the Elements of a Unified Information Space. Final Report on Research Project (Grant No 0197y012776 of Ministry of Education and Science of Ukraine), Zaporozhye State Univ., Zaporozhye, 2001, 174p. (in Ukrainian)
7. Lesser V.R.: Reflections on the Nature of Multi-Agent Coordination and Its Implications for an Agent Architecture, Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 1(1), 89–111, 1998.
8. M. Nodine, B. Perry, and A. Unruh. Experience with the InfoSleuth agent architecture. In: Proc. of AAAI-98 Workshop on Software Tools for Developing Agents, 1998.

9. Labrou, Y. & Finin, T. (1997). A proposal for a new KQML specification , Technical Report TR CS-97-03, University of Maryland Baltimore County (UMBC), Computer Science and Electrical Engineering Department, Baltimore, Maryland 21250, USA. <http://citeseer.nj.nec.com/article/labrou97proposal.html> last accessed Jan 20, 2002
10. Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA) Spec: DRAFT, Version 0.2, Agent Communication Language, 1999, <http://www.fipa.org>, last accessed Jan 19, 2002.
11. Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA) Spec: FIPA Agent Message Transport Service Specification Doc No XC00067B, 2000, <http://www.fipa.org>, last accessed Jan 19, 2002.
12. Gasser, L., "DAI Approaches to Coordination" in Distributed Artificial Intelligence: Theory and Praxis (eds. N. M. Avouris and L. Gasser) Kluwer Academic Publishers pp 31-51.
13. V. A. Ermolayev, S. U. Borue, V. A. Tolok, N. G. Keberle: Use of Diakoptics and Finite Automata for Modelling Virtual Information Space Agent Societies // "Lecture Notes of Zaporozhye State University", ISBN 966-599-058-4, Vol. 3, No 1, 2000, pp. 34-44.
14. Amy Unruh and Marian Nodine. Industrial-Strength Conversations. In: Proceedings of Agents-2000 Workshop on Agent Communication, 3 June 2000, Barcelona
15. Ermolayev, V. Keberle, N., Tolok, V.: OIL Ontologies for Collaborative Task Performance in Coalitions of Self-Interested Actors. To appear In: Proc. of the 2-nd Int. Workshop on Conceptual Modelling Approaches for E-Business (eCOMO'2001) at ER'2001, Nov. 27-30, 2001, Yokohama, Japan.
16. D. Fensel, M. Crubezy, F. van Harmelen, and I. Horrocks: OIL & UPML: A Unifying Framework for the Knowledge Web. In Proceedings of the Workshop on Applications of Ontologies and Problem-solving Methods, 14th European Conference on Artificial Intelligence ECAI'00, Berlin, Germany August 20-25, 2000.

17. Keith S. Decker, Environment Centered Analysis and Design of Coordination Mechanisms. Umass CMPSCI Tech. Rep. 95-69, 1995, 199 p.
18. Jennings, N. R.: Coordination Techniques for Distributed Artificial Intelligence. In: (O'Hare, G. M. P., Jennings, N. R. Eds.) Foundations of Distributed Artificial Intelligence. Wiley (1996)
19. Horrocks, I., Fensel, D., Broekstra, J., Decker, S., Erdmann, M., Goble, C., Van Harmelen, F., Klein, M., Staab, S., Studer, R.: OIL: The Ontology Inference Layer, Tech.Rep. IR-479, Vrije Universiteit Amsterdam, Sept., 2000 (2000)
20. M. d'Inverno, M. Luck, and M. Wooldridge, (1997). Cooperation structures. IJCAI '97.
21. Uschold, M., King, M., Moralee, S., Zorgios, Y.: The Enterprise Ontology, Knowledge Engineering Review 13(1) (1998)
22. Tate, A.: Roots of SPAR - Shared Planning and Activity Representation. Knowledge Engineering Review 13(1) (1998) 121-128
23. Schlenoff, C.; Ciocoiu, M.; Libes, D.; Gruninger, M.: Process Specification Language: Results of the First Pilot Implementation. In: Proc. of the Int. Mechanical Engineering Congress and Exposition, Nashville (1999)
24. William E. Walsh and Michael P. Wellman. A market protocol for decentralized task allocation. In: Proc. of the Third International Conference on Multi-Agent Systems, pages 325--332, 1998.
25. Peter Stone and Manuela Veloso. Task decomposition and dynamic role assignment for real-time strategic teamwork. In "Intelligent Agents V — Proceedings of the Fifth International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages (ATAL'98)", Mueller, Singh, and Rao (Eds.), 1999. Springer Verlag, Heidelberg.

26. Faratin, P.: Automated Service Negotiation Between Autonomous Computational Agents. PhD Thesis, Univ. of London (2000)
27. O. Shehory and S. Kraus. Methods for task allocation via agent coalition formation. *Artificial Intelligence*, 101(1-2):165--200, 1998.
28. Faratin, P., Jennings, N. R., Buckle, P., Sierra, C.: Automated Negotiation for Provisioning Virtual Private Networks Using FIPA-Compliant Agents. In: Proc. 5th Int. Conf. on the Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Systems (PAAM-2000), Manchester, UK (2000) 185–202
29. Jennings, N. R., Faratin, P., Norman, T. J., O'Brien, P., Odgers, B. Alty, J. L.: Implementing a Business Process Management System using ADEPT: A Real-World Case Study. *Int. Journal of Applied Artificial Intelligence* 14 (5) (2000) 421-465
30. Barbuceanu, M.; Fox, M.S.: The Architecture of an Agent Building Shell. In: (Wooldridge, M.; Mueller, J.P.; Tambe, M. Eds): *Intelligent Agents II: Agent Theories, Architectures and Languages. Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 1037*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York (1996)
31. C. Sierra, N.R. Jennings, P. Noriega, and S. Parsons. A framework for argumentation-based negotiation. In M.P. Singh, A. Rao, and M.J. Wooldridge, editors, Proc. ATAL-97, pages 177--192, Berlin, Germany, 1998. Springer-Verlag.
32. Sycara, K., Klusch, M., Widoff, S., Lu, J.: Dynamic Service Matchmaking Among Agents in Open Information Environments. *ACM SIGMOD Record* 28(1) Special Issue on Semantic Interoperability in Global Information Systems (1999) 47–53
33. Hitoshi Matsubara, Itsuki Noda, and Kazuo Hiraki. Learning of cooperative actions in multi-agent systems: a case study of pass play in soccer. In *Adaptation, Coevolution and Learning in Multiagent Systems: Papers from the 1996 AAAI Spring Symposium*, pages 63--67, Menlo Park, CA, March 1996. AAAI Press. AAAI Technical Report SS-96-01.

34. Claus, C., Boutilier, C.: The Dynamics of Reinforcement Learning in Cooperative Multiagent Systems. AAAI-97 Workshop on Multiagent Learning, (1997).
35. Ermolayev, V., Dynamic Agent Communities Facilitating to Distant Learning in a Virtual University Information Space. In: Proc. of Intl. Conf. IS2000, Special Session on Virtual Universities and Distance Education, Japan, November 5-8, 2000 (2000) 488–495
36. M. Barbuceanu and M.S. Fox. The Design of a Coordination Language for MultiAgent Systems. In J.P. Muller, M.J. Wooldridge, and N.R. Jennings, editors, Intelligent Agents III. Proceedings of Third International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages (ATAL'96)), number 1193 in LNAI. Springer Verlag, August 1996.
37. Mark Greaves, M., Holback, H., Bradshaw, J.: What Is a Conversation Policy? In: Proc. Of the Workshop on Specifying and Implementing Conversation Policies, Autonomous Agents '99, Seattle, Washington May 1st, 1999
38. Thomas Wagner, Brett Benyo, Victor Lesser, and Ping Xuan. Investigating Interactions Between Agent Conversations and Agent Control Components. In Agents 99 Workshop on Conversation Policies, 1999.
39. Pitt, J. and Mamdani, A.: Communication Protocols in Multi-Agent Systems. In: Proc. Of the Workshop on Specifying and Implementing Conversation Policies, Autonomous Agents '99, Seattle, Washington May 1st, 1999
41. Fox, M.C.; Gruninger, M.: Enterprise Modelling. AI Magazine 19(3) (1998) 109–121
40. F. Lin, D. Norrie, R. Flores, R. Kremer, Incorporating Conversation Managers into Multi-agent Systems. In: Proc. Of Agents-2000 Workshop on Agent Communication 3 June 2000, Barcelona



42. Gruninger, M., Fox M. C.: An Activity Ontology for Enterprise Modelling. Workshop on Enabling Technologies – Infrastructures for Collaborative Enterprises, West Virginia Univ. (1994)

43 Tate, A.: <I-N-OVA> and <I-N-CA> - Representing Plans and other Synthesized Artifacts as a Set of Constraints. In: Proc. of the AAAI-2000 Workshop on Representational Issues for Real-World Planning Systems, Austin (2000)

44 McIlraith, S. A., Son, T.C., Zeng, H.: Mobilizing the Semantic Web with DAML-Enabled Web Services. In: Proc. Of the Second Intl. Workshop on the Semantic Web – SemWeb’2001, Honkong, China, May 1, 2001 (2001) 82–87

45 Bradshaw J.M., Dutfield S., Carpenter B., Jeffers R., Robinson T.: KAoS: A Generic Agent Architecture for Aerospace Applications, in *Proc. of the CIKM’95 Intelligent Information Agents Workshop*, Omni Inner Harbor Hotel, Baltimore MD, Dec. 1–2, 1995.

46 Bradshaw J.M.: KAoS: Toward an Industrial-Strength Open Agent Architecture, in Bradshaw J.M.(ed.), *Software Agents*, AAAI Press/MIT Press, Cambridge/Menlo Park, 375–418, 1997.

47 Labrou, Y., Finin, T. and Peng, Y.: Agent communication languages: the current landscape. IEEE Intelligent Systems, May 1999.

48 Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA) Spec: FIPA Agent Message Transport Service Specification Doc No XC00067, 2000, <http://www.fipa.org>, last accessed Jan 19, 2002.

49 Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA) Spec: FIPA Agent Message Transport Protocol for IIOP Specification C and D Doc No XC00075, 2000, <http://www.fipa.org>, last accessed Jan 19, 2002.

50 Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA) Spec: FIPA Agent Message  
Transport Protocol for WAP Specification Doc No XC00076, 2000, <http://www.fipa.org>,  
last accessed Jan 19, 2002.

УДК

КП

№ госрегистрации: **0102У005339**

Инв. №

Министерство образования и науки Украины  
Запорожский государственный университет  
69063, г. Запорожье, ул. Жуковского, 66; тел. (0612)-64-17-24, факс (0612)-64-45-46, телекс 12-74-47 ОРИОН

## ОТЧЕТ

### О НАУЧНО - ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Разработка методов и моделирование процессов информационного взаимодействия в сложных распределенных системах с автономными активными компонентами

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ  
ПОСТРОЕНИЯ АГЕНТОВ, ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АГЕНТОВ,  
АНАЛИЗА ПОВЕДЕНИЯ СИСТЕМЫ, АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АГЕНТОВ  
(промежуточный)**