

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ПРОТОКОЛ «СЕТЬ КОНТРАКТОРОВ» ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АГЕНТОВ В СИСТЕМЕ «ИНТЕГРАЦИЯ»¹

Н. Г. Шилов

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН
199178, Санкт-Петербург, 14-я линия В.О., д.39
<nick@iiias.spb.su>

УДК 681.3

Н. Г. Шилов. Модифицированный протокол "сеть контракторов" для взаимодействия агентов в системе «Интеграция» // Труды СПИИРАН. Вып. 2, т. 1. — СПб.: СПИИРАН, 2004.

Аннотация. Описан и проанализирован предлагаемый модифицированный протокол «сеть контракторов», разработанный в рамках подхода Сетью Источников Знаний (СИЗ). Изменения затрагивают формализм представления знаний агентами и сценарий их взаимодействия. Для представления и обработки знаний предложено использование формализма объектно-ориентированных сетей ограничений. Изменения, касающиеся сценария взаимодействия, включают реализацию итеративных переговоров, параллельное согласование предложений, расширенный набор типов сообщений, дополнительные роли агентов, а также возможность смены агентами их ролей в процессе исполнения сценариев — Библиограф. 8 назв.

UDC 681.3

N. G. Chilov. Modified contract net agent negotiation protocol for the system "Integration" // SPIIRAS Proceedings. Issue 2, vol. 1. — SPb.: SPIIRAS, 2004.

Abstract. The paper describes and analyses a proposed contract net protocol designed as a part of the being developed "SIZ"-approach. Improvements to the contract net protocol concern the formalism of agents' knowledge representation and the scenario of the agents' interaction. For the agents' knowledge representation and manipulation a formalism of object-oriented constraint networks is proposed. Modifications related to the interaction scenarios include introduction of iterative negotiation, concurrent conformation of proposals, extended set of available messages, an additional role for agents and agents' ability to change their roles during scenarios — Bibl. 8 items.

1. Введение

Увеличение потребностей в знаниях и интенсивная кооперация вызвали необходимость интенсивного совместного использования знаний и обмена ими между участниками глобальной информационной среды таким образом, чтобы нужное знание из распределенных источников было бы интегрировано и доставлено лицам, принимающим решения, в нужное время и в соответствующем контексте. Исследование таких привело к появлению нового научного направления, названного логистикой знаний [1]. Разработанный лабораторией интегрированных систем автоматизации СПИИРАН подход «СИЗ» к логистике знаний подразумевает синергичное использование знаний из различных источников с целью дополнения имеющихся и получения новых знаний.

В связи с тем, что проблема логистики знаний имеет распределенную природу, система «Интеграция», реализующая подход «СИЗ», имеет многоагентную архитектуру, подробно описанную в [1] и требующую для своей работы модель переговоров агентов. Такие модели определяют основные правила таким

¹ Фрагменты данного научного исследования были выполнены в рамках проекта 16.2.44 научно-исследовательской программы «Математическое моделирование и интеллектуальные системы» и проекта 1.9 научно-исследовательской программы «Фундаментальные основы информационных технологий и компьютерных систем» РАН, гранта 02-01-00284 РФФИ и партнерского проекта 1993P с МНТЦ, спонсируемого EOARD.

образом, что если агенты следуют им, система ведет себя так, как задумано ее создателями.

Подход «СИЗ» основан на представлении проблемы логистики знаний как проблемы конфигурирования сети, чьи элементы представляют собой элементы глобальной информационной среды, а именно, конечных пользователей, слабосвязанные источники знаний (экспертов, базы знаний, репозитории, документы и т.п.) и средства управления/обработки информации и знаний. Такая сеть была названа *Сетью Источников Знаний* или *СИЗ*, а подход был назван подходом «СИЗ». Среди прочих данный подход использует технологии управления онтологиями, удовлетворение ограничений, нечеткие вычисления и др. Подробное описание подхода может быть найдено в [2].

В качестве технологической основы системы «Интеграция» была выбрана многоагентная архитектура, основанная на эталонной модели FIPA [3], определяющей свойства и функции агентов, поскольку она описывает стандарты разнородных взаимодействующих агентов и многоагентных систем, а также онтологии и протоколы взаимодействия для поддержки взаимодействия различных систем. Технологическими агентами FIPA, используемыми в системе являются: интерфейсный агент/wrapper (взаимодействие и ИЗ), маршрутизатор/facilitator (услуга «желтых страниц» для агентов), посредник/mediator (управление прохождением заданий) и агент пользователя/user agent (взаимодействие с пользователями). Кроме того, были разработаны следующие проблемно-ориентированные агенты и сценарии их взаимодействия, специфичные для системы «Интеграция»: транслирующий агент/translation agent (перевод терминологий различных словарей), агент интеграции знаний/knowledge fusion agent (выполнение операций интеграции знаний), агент конфигуратор/configuration agent (эффективное конфигурирование сети ИЗ), агент управления онтологиями/ontology management agent (выполнение операций работы с онтологиями), агент помощник эксперта/expert assistant agent (взаимодействие с экспертами) и агент мониторинга/monitoring agent (проверка ИЗ). Пример взаимодействия агентов при обработке запроса пользователя представлен на рис. 1.

2. Требования к протоколу взаимодействия агентов системы «Интеграция»

Для выбора протокола основные особенности переговорных процессов в системе «Интеграция» были сформулированы следующим образом:

1. *Сотрудничество*: агенты должны работать совместно друг с другом с целью достижения наилучшего результата работы всей системы, а не каждого агента в отдельности;
2. *Выполнение задачи*: основной целью является выполнение задачи, а не извлечение прибыли;
3. *Доминирование*: агенты взаимодействуют в децентрализованном сообществе, однако, во всех процессах переговоров присутствует агент, управляющий процессом переговоров и принимающий окончательное решение;
4. *Доверие*: поскольку агенты работают в рамках одной системы, они могут доверять друг другу и не должны проверять информацию, полученную от других агентов, если это дополнительно не указано в сценарии;
5. *Общая терминология*: поскольку агенты работают в рамках единой системы, они используют общий словарь и общую терминологию для «обще-

ния» (нет необходимости переводить сообщения агентов, возможность «непонимания» агентами друг друга отсутствует).

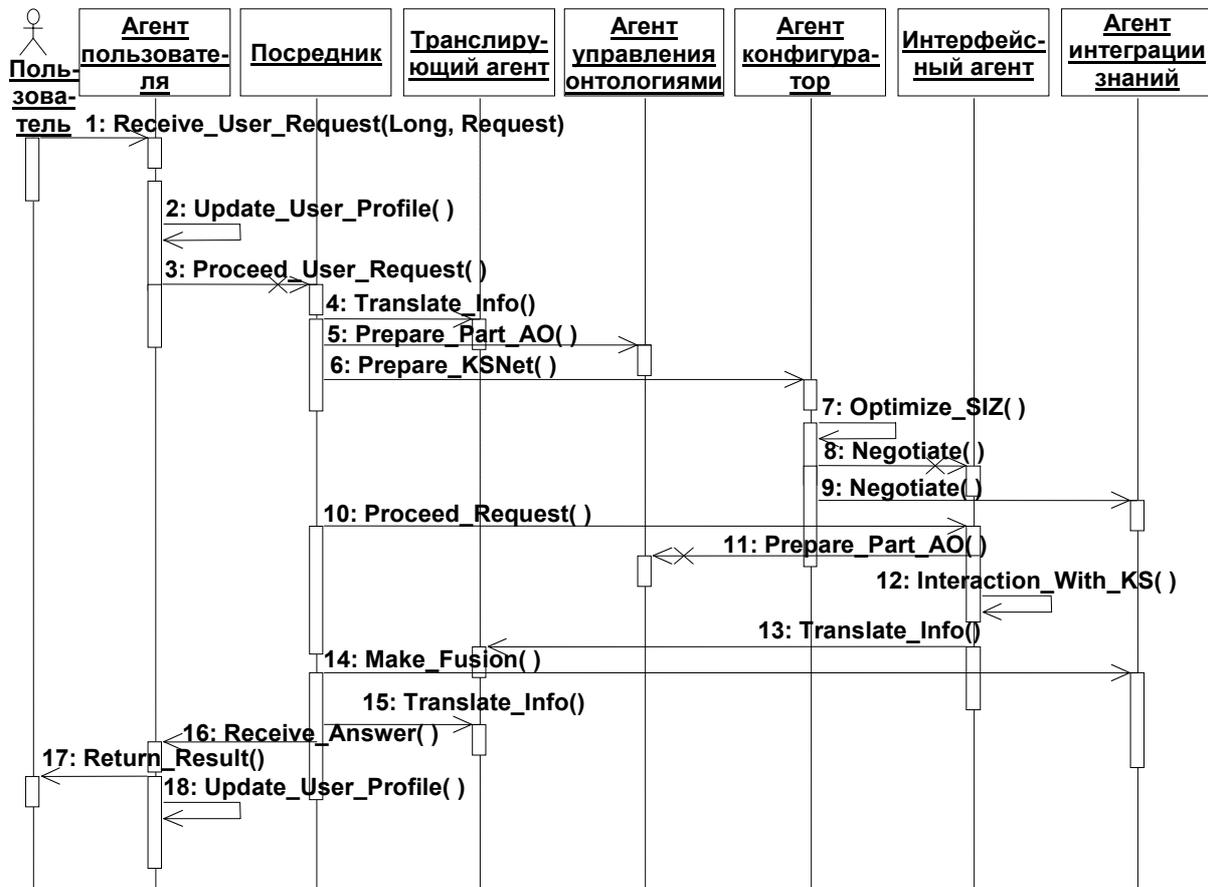


Рисунок 1. Многоагентная архитектура системы «Интеграция»

Протоколы, проанализированные с целью выбора наиболее подходящего для системы «Интеграция», включают: голосование (voting), торги (bargaining), аукционы (auctions), механизмы рыночного равновесия (general equilibrium market mechanisms), коалиционные игры (coalition games) и сети контракторов (contract nets) [4]. На основе анализа данных протоколов и вышеуказанных требований к ним (табл. 1) в качестве основы модели переговоров в системе «Интеграция» был выбран протокол сетей контракторов (ПСК).

Проведенные эксперименты с ПСК показали, что для эффективной работы системы «Интеграция» использование «классического» ПСК недостаточно. Было необходимо обеспечить механизмы для представления агентами своих знаний, анализа сделок и реализации таких переговоров, которые бы обеспечили выполнение задачи. Далее, в статье рассматриваются модификации, внесенные в ПСК с целью исправления данных недостатков.

3. «Классический» ПСК

ПСК был первоначально предложен Randall Davis и Reid G. Smith [5]. Основной сценарий данного протокола заключается в следующем: (i) менеджеры/*managers* (*инициаторы/initiators* в FIPA) распределяют задания, (ii) контракторы/*contractors* (*участники/participants* в FIPA) предлагают свои

услуги и их стоимость, (iii) менеджер заключает контракт с контрактором, предложившим наименьшую стоимость, (iv) заявки контракторов не обсуждаются. UML-диаграмма «классического» ПСК представлена на рис. 2. Поскольку ПСК является базовым протоколом, любая многоагентная система требует его модификации. В качестве примеров можно привести работы Sandholm и Lesser, посвященные модификации ПСК для его использования в области электронной коммерции [6], и Zhang и др., посвященные модификации ПСК для его использования в высоко динамичных средах, где менеджеры не могут полностью доверять контракторам [7].

Таблица 1. Сравнение протоколов взаимодействия агентов с точки зрения требований, предъявляемых системой «Интеграция»

Критерии	Протоколы					
	Голосование	Торги	Аукционы	Механизмы рыночного равновесия	Коалиционные игры	Сети контракторов
Сотрудничество	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> / <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Выполнение задачи	<input type="checkbox"/> / <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> / <input checked="" type="checkbox"/>
Доминирование	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Доверие	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Общая терминология	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

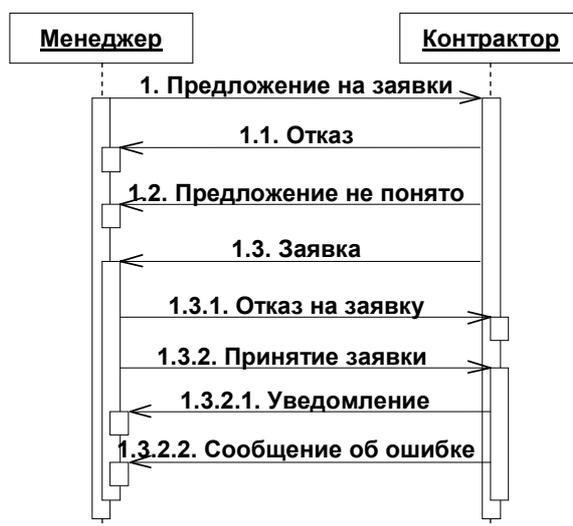


Рисунок 2. UML диаграмма «классического» ПСК

3.1. Модифицированный ПСК

Поскольку в системе «Интеграция» для представления знаний используется формализм объектно-ориентированных сетей ограничений, этот же форма-

лизм был выбран для представления знаний агентов и обмена знаниями между ними. Были определены два типа ограничений: *локальные* и *глобальные*. Каждый контрактор имеет дело с локальными ограничениями, описывающими его возможности, например, время выполнения задания не может быть меньше определенной величины ($time \geq time_{lower\ bound}$). Менеджеры также имеют дело с локальными ограничениями, основной целью которых является определение требований к выполнению задачи, например, время выполнения задачи не может превосходить определенную величину ($time \leq time_{upper\ bound}$). Кроме того, менеджер может иметь цели, такие как минимизация затрат на выполнение задачи ($costs \rightarrow min$). Глобальные ограничения описывают ограничения, определяемые сообществом агентов, например, доступные ресурсы. Эти ограничения влияют на такие параметры, как время, стоимость, надежность, доступность или недоступность определенных агентов/ресурсов, загруженность сети и т.п. Для обработки ограничений используются технологии удовлетворения/распространения ограничений.

Таким образом, обобщенное предложение менеджера на заявки от контракторов имеет следующий вид:

Objective (необязательно)
Constraints (необязательно)
Content (необязательно).

Цель является необязательной и используется для удовлетворения таких ограничений менеджера, как минимизация стоимости или времени обработки задания. Ограничения также необязательны и используются с похожей целью, а именно, удовлетворение требований обработки задания. Очевидно, что либо цель либо ограничения обязательно должны присутствовать. Содержание – это само сообщение, описывающее функции, которые должны выполнить контракторы и другие параметры.

Заявки контракторов помимо содержания содержат ограничения, соответствующие цели и ограничениям менеджера. Заявки будут проиллюстрированы в конце статьи. Если контрактор не может удовлетворить ограничениям, он все равно делает заявку с наиболее подходящими возможными параметрами, а менеджер решает, принять или отклонить данную заявку.

Выполненная модификация модели переговоров ПСК включает введение дополнительных сообщений и особенностей, необходимых для задач логистики знаний, наиболее важные из которых представлены в табл. 2.

Процесс переговоров завершается, когда найдено допустимое решение или улучшение решения отсутствует на очередной итерации.

4. Пример использование модифицированного ПСК

Для сравнения эффективности «классического» и модифицированного ПСК был проведен ряд экспериментов, включая эксперимент, рассмотренный далее. Данный эксперимент был проведен с использованием среды разработки много-агентных систем MAS DK [8], которая была использована при реализации прототипа системы «Интеграция».

Таблица 2. Модификации, внесенные в «классический» ПСК

Модификации	Протоколы	
	«Классический» ПСК	Модифицированный ПСК
Итеративные переговоры	—	Процесс переговоров может повторяться несколько раз пока не будет достигнуто допустимое решение или пока решение не перестанет улучшаться
Согласование	—	Параллельное согласование между менеджером и контракторами
Доступные сообщения	Фиксированный набор из 8 сообщений (рис. 2)	Гибкий набор: были добавлены новые сообщения, специфичные для процесса интеграции знаний и соответствующие коммуникативным актам <i>Запрос/Request</i> и <i>Подтверждение/Confirm</i> FIPA, а также сообщение <i>Клонировать/Clone</i> , не имеющее аналогов в спецификации FIPA (данное сообщение дает задание маршрутизатору на создание новых экземпляров («клонирование») посредников, агентов пользователей или агентов помощников экспертов)
Роли участников	Менеджер и контракторы	Менеджер и два типа контракторов: (i) «классические» контракторы, обсуждающие заявки, и (ii) исполнители, которые не ведут переговоров, а только выполняют операции, необходимые для процесса интеграции знаний (например, редактирование онтологий, обеспечение интерфейса с пользователем и т.д.)
Смена ролей	—	Агенты способны изменять свои роли по мере прохождения сценария

Согласно сценарию обработки запроса пользователя (в данном примере будет рассмотрен запрос на конфигурацию виртуального предприятия для производства изделий с заданными характеристиками) агент конфигуратор (АК) должен получить знания от интерфейсных агентов (операция 8 на рис. 1). В данном примере будут рассмотрены три интерфейсных агента (ИА1, ИА2 и ИА3), способные предоставить знания из различных областей, необходимые для обработки запроса (знания о возможных конфигурациях изделий, о предприятиях — возможных участниках конфигурируемого виртуального предприятия и о транспортной системе региона для организации транспортировки изделий и их компонентов). В качестве критерия обработки запроса выступает критерий последовательной минимизации времени и затрат на получения знаний от интерфейсных агентов:

АК: $time \rightarrow \min, costs \rightarrow \min$.

Для примера были выбраны критерии затрат и времени, поскольку они наиболее часто используются в подобных задачах.

Интерфейсные агенты могут подавать различные заявки, причем, чем быстрее время выполнения заказа, тем выше затраты. Ниже представлены возможные заявки:

ИА1: 30min/\$15

ИА2: 15min/\$20; 25min/\$10; 45min/\$5; ...

ИА3: 50min/\$25; 60min/\$15; 70min/\$10; ...

Результирующие затраты и время выполнения задания рассчитываются следующим образом:

$$time = \max(time_{W1}, time_{W2}, time_{W3});$$
$$costs = \text{sum}(costs_{W1}, costs_{W2}, costs_{W3}).$$

Первый сценарий соответствует «классическому» ПСК (рис. 3), котором агент конфигуратор рассылает предложения на заявки одновременно. Кроме описания задачи, предложения содержат дополнительные ограничения. В данном случае эти ограничения будут иметь следующий вид:

$time \rightarrow \min$

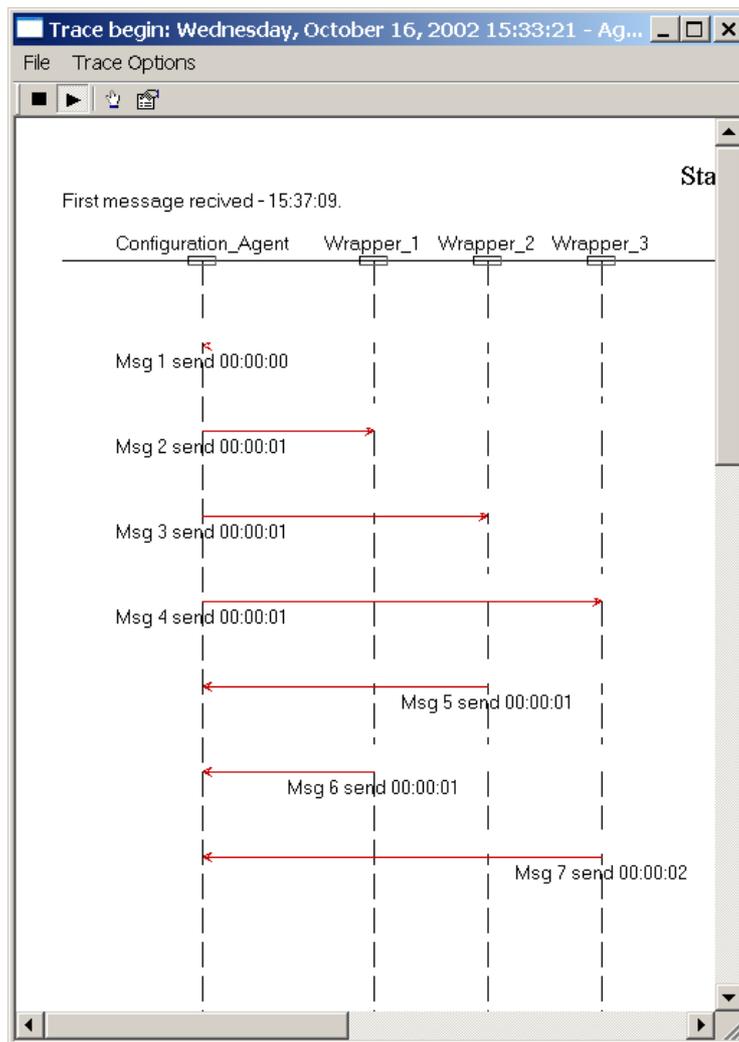


Рисунок 3. Эксперимент: сценарий 1

Заявки от интерфейсных агентов будут следующими:

ИА1: 30min/\$15

ИА2: 15min/\$20

ИА3: 50min/\$25.

Результатом будет следующее решение: 50 минут и \$60.

Второй сценарий соответствует модифицированному ПСК, описанному в данной работе. Он содержит параллельное согласование и итеративные переговоры (рис. 4). На первой итерации агент конфигуратор рассылает предложения на заявки одновременно, как и в первом сценарии, и получает те же аналогичные заявки от интерфейсных агентов:

$time \rightarrow \min$

ИА1: 30min/\$15
ИА2: 15min/\$20
ИА3: 50min/\$25.

Затем, агент конфигуратор анализирует результаты и рассылает новые «уточненные» предложения ИА1 и ИА2:

$time \leq 50 \text{ AND } costs \rightarrow \min.$

Интерфейсные агенты возвращают следующие заявки:

ИА1: 30min/\$15
ИА2: 45min/\$5.

Таким образом, результатом будет следующее решение 50 минут и \$45:

ИА1: 30min/\$15
ИА2: 45min/\$5
ИА3: 50min/\$25.

5. Заключение

В данной статье предложен модифицированный ПСК, основанный на использовании технологии удовлетворения ограничений и разработанный в рамках подхода «СИЗ». Выполненные модификации протокола включают (i) реализацию переговоров, основанных на технологии удовлетворения ограничений, (ii) итеративные переговоры, (iii) параллельное согласование, (iv) расширенные наборы сообщений и ролей агентов, а также (v) возможность смены агентами своих ролей в процессе выполнения сценариев.

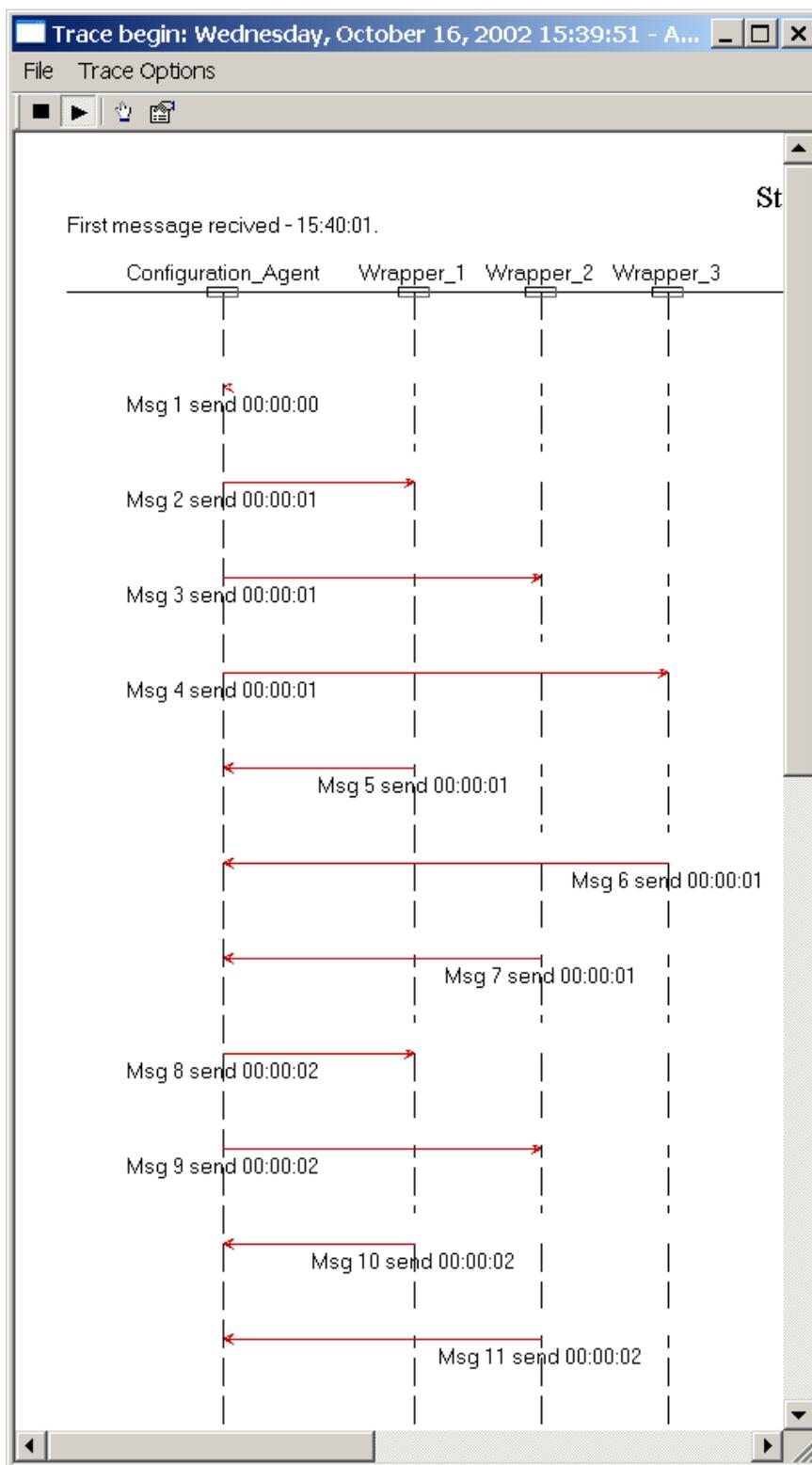


Рисунок 4. Эксперимент: сценарий 2

Как было продемонстрировано, предложенный в работе модифицированный ПСК позволяет достичь лучшего решения по сравнению с «классическим» ПСК. Другими словами, если U_C , U_M — качество решений «классического» и модифицированного ПСК соответственно, то $U_M \geq U_C$. С другой стороны, очевидно, что время переговоров в предложенном протоколе выше. Можно заме-

тить, что если $T_{i=1..n}$ — время отклика контракторов (n — число участвующих контракторов), T_{man} — время отклика менеджера, а T_C и T_M — длительность переговоров для «классического» и модифицированного ПСК соответственно, то $T_C \leq T_M \leq T_C + T_{max} + T_{man}$, где $T_{max} = \max_{i=1}^n T_i$. Таким образом, максимальная длительность переговоров не зависит напрямую от числа участвующих агентов, однако она зависит от T_{man} , которое в свою очередь зависит от сложности задачи и, следовательно, может зависеть от числа участвующих агентов. Данная зависимость должна быть оценена в каждом конкретном случае применения протокола.

Дальнейшая работа в данной области будет ориентирована на развитие системы «Интеграция» как основанной на сервисах Грид-среды, добавление обработки нечеткостей при переговорах агентов и возможности реализации сценариев типа «что-если» для оценки эффективности решений, предлагаемых системой.

Литература

- [1] *Смирнов А. В., Левашова Т. В., Пашкин М. П., Шилов Н. Г.* Онтолого-ориентированный многоагентный подход к построению систем интеграции знаний из распределённых источников. Информационные технологии и вычислительные системы, 2002. № 1. с. 62–82.
- [2] *Smirnov A., Pashkin M., Chilov N., Levashova, T.* Agent-based support of mass customization for corporate knowledge management. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2003. Vol. 16, No. 4. P. 349 — 364.
- [3] Foundation for Intelligent Physical Agents, 2004. URL: <<http://www.fipa.org>>.
- [4] *Weiss G, ed.* Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence. Cambridge, Massachusetts, London: The MIT Press, 2000. 648 P.
- [5] *Davis R., Smith R. G.* Negotiation as a metaphor for distributed problem solving // Artificial Intelligence. 1983. Vol. 20, No. 1. P. 63–109.
- [6] *Sandholm T. W., Lesser V. R.* Issues in automated negotiation and electronic commerce: extending the contract net framework // ICMAS-95 First International Conference on Multiagent Systems. 1995. P. 328–335.
- [7] *Zhang, H., Wu, B., Dong, M., Shi, Z.* Dynamic contract net protocol // ICIT'2002 International Conference on Intelligent Information Technology. 2002. P. 564–572.
- [8] *Городецкий В. И., Карсаев О. В., Конюший В. Г., Самойлов В. В., Хабалов А.* Среда разработки многоагентных приложений MASDK // Информационные технологии и вычислительные системы. 2003. № 1–2. P. 26–41.