УДК 004.8:004.65

КООРДИНАЦИЯ ДЕЛЕГИРОВАНИЯ РАБОТ В КОАЛИЦИЯХ АГЕНТОВ, ВЫПОЛНЯЮЩИХ ЗАДАНИЯ

Ермолаев В. А., к.ф.-м.н., доцент, Плаксин С. Л., инженер

Запорожский государственный университет

1.ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных направлений в области автоматизации выполнения бизнес-процессов является использование технологии интеллектуальных программных агентов. В [1, 2, 3, 4] предложен формальный подход к моделированию бизнес-процессов как процессов информационного обмена между различными типами пользователей и различными активными функциональными системами (компонентами), представленными как мультиагентские системы (агенты). Использование данного подхода позволяет моделировать динамические бизнес-процессы, сценарии которых изменяются во времени.

В такой системе агенты ориентированы на выполнение потоков работ, образующих бизнес-процесс. Каждый из этих агентов является автономным [5] и рациональным [5]. Эти агенты отличаются друг от друга их способностями выполнять некоторые действия. Для выполнения общих задач агенты объединяются в динамические коалиции. Агент присоединяется к коалиции при поручении ему работы. Таким образом, одной из ключевых проблем является организация кооперативного выполнения заданий коллективом автономных исполнителей, каждый из которых имеет свой собственный интерес.

В рамках подхода [1, 2, 3, 4] считается, что задания, которые выполняют агенты, являются наборами атомарных работ. Каждый агент способен выполнить некоторую атомарную работу из множества атомарных работ мультиагентской системы. Особенностью рассматриваемой модели агентской системы является то, что агенты не только выполняют атомарные работы, но и самостоятельно распределяют их между собой. Распределение работ между агентами состоит в том, что один агент ищет другого агента, который выполнит некоторую атомарную работу. Первого будем называть агентом-инициатором, а второго – агентом-исполнителем.

От того, насколько оптимально агенты распределят атомарные работы, зависит эффективность выполнения всего задания. Действительно, одну и туже атомарную работу могут выполнить несколько агентов-исполнителей. Агенты-исполнители обладают различной способностью выполнить эту атомарную работу. Способность агента выполнить атомарную работу зависит от его текущего внутреннего состояния, от его загруженности выполнением других работ и т. п. Кроме того, ни один из агентов не обладает полной информацией о возможных действиях других агентов, об их внутреннем состоянии и об их способности выполнить некоторую работу. Для поиска наиболее оптимального исполнителя, который выполнит работу на наиболее выгодных для агента-инициатора условиях, агенты должны взаимодействовать. В качестве таких условий выбраны время выполнения работы и вознаграждение, которое получит агент-исполнитель за выполнение работы.

Для поиска оптимального исполнителя некоторой атомарной работы агент-инициатор вступает в переговоры с различными агентами-исполнителями. Переговоры при распределении работ являются, следовательно, механизмом координации динамической коалиции агентов. Действительно, переговоры обеспечивают правильную и непротиворечивую последовательность выполнения атомарных работ. Кроме того, переговоры позволяют оптимальным образом распределить работы между агентами.

В статье рассматривается формальная модель координации динамической коалиции рациональных (стремящихся повысить своё вознаграждение) и кооперативных (стремящихся оптимально распределить работы между собой) агентов.

Статья организована следующим образом. В разделе 2 перечислены базовые компоненты, использующиеся при организации координации распределения работ посредством переговоров. В разделе 3 рассмотрен объект переговоров, в разделе 4 приведен протокол переговоров, в разделе 5 представлена формальная модель поведения агента-инициатора выполнения работы при поиске исполнителя. В разделе 6 сделаны выводы и намечены дальнейшие направления развития механизма координации распределения работ в коалиции рациональных агентов, совместно выполняющих задания.

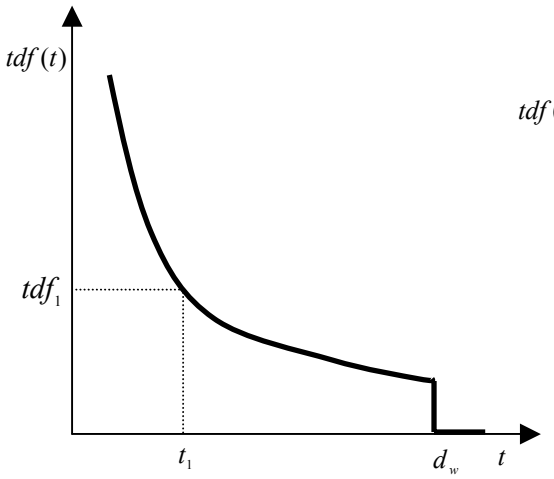


Рис. 1. График функции $tdf(t)$.

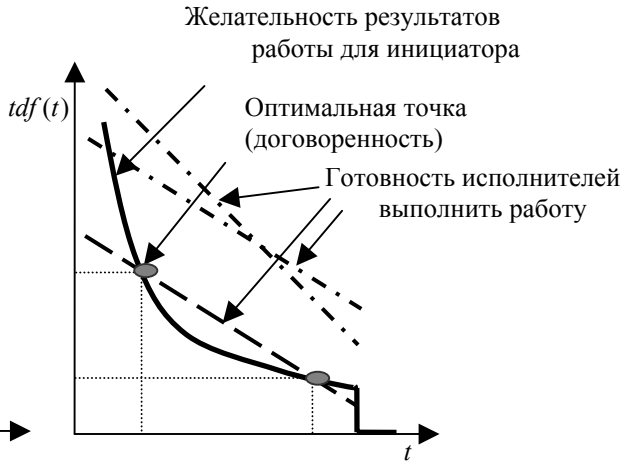


Рис. 2. Процесс соглашения о вознаграждении.

2. КООРДИНАЦИЯ ПРИ РАСПРЕДЕЛЕНИИ РАБОТ ПОСРЕДСТВОМ ПЕРЕГОВОРОВ

В динамическом сообществе агенты самостоятельно распределяют атомарные работы между собой. Часто одну и ту же работу в сообществе могут выполнить несколько агентов. Все эти агенты, на момент распределения работ, могут находиться в разных состояниях (например, в различной степени загружены выполнением работ). Следовательно, эффективность распределения работ влияет на результат выполнения общего задания.

Для того, чтобы наиболее эффективно распределить работы между агентами, они должны взаимодействовать друг с другом – вести переговоры. В процессе переговоров необходимо выявить оптимального исполнителя для каждой работы. Процесс переговоров при распределении работ – один из видов координации динамического сообщества агентов. Как отмечает Дженнингс Н. Р. в [6], любой процесс переговоров состоит из таких компонентов:

- протокола переговоров – набора правил, по которым происходит взаимодействие агентов. Сюда входит количество участников, типы участников, состояния переговоров, правила, по которым изменяются состояния переговоров, возможные действия участников в каждом состоянии переговоров;
- объекта переговоров – диапазон проблем, по которым должно быть достигнуто соглашение. В общем случае участникам можно динамически изменять объект переговоров;
- модели принятия решения агентом – аппарат принятия решения, который используют участники, чтобы действовать в соответствии с протоколом переговоров.

Далее рассмотрим более подробно объект переговоров, протокол переговоров и модель принятия решения агентом-инициатором процесса переговоров при распределении работ в динамическом сообществе агентов.

3. ОБЪЕКТ ПЕРЕГОВОРОВ

Переговоры происходят на стадии распределения работ между агентами сообщества. В процессе переговоров агент-инициатор переговоров ищет потенциального агента исполнителя для выполнения некоторой работы. Учитывая рациональность агентов, разумным было бы предположить, что объектом переговоров агентов на стадии распределения работ будет размер вознаграждения, которое получит агент-исполнитель за выполнение работы.

В [7] предложена функция $tdf(t)$, описывающая зависимость размера вознаграждения от времени. Функция $tdf(t)$ задаётся в табличном виде парами чисел (t, tdf), где t - время выполнения работы, tdf - вознаграждение, которое получит агент-исполнитель, выполнив работу w за время t. Чаще всего функция $tdf(t)$ будет убывающей. Действительно, чем дольше агент-исполнитель выполняет работу w, тем меньшее вознаграждение он должен получить.

Каждая работа w характеризуется максимальной продолжительностью выполнения d_w, после истечения которой выполнение работы w становится не актуальным. То есть если агент-исполнитель будет

выполнять работу w дольше чем d_w, то его вознаграждение будет равным нулю. График функции $tdf(t)$ изображен на рисунке 1. Функция $tdf(t)$ не всегда может быть монотонно убывающей, как это изображено на рисунке 1. Иногда функция $tdf(t)$ может быть, например, периодической. Это говорит о том, что актуальность результата выполнения такой работы тоже изменяется периодически.

На рисунке 2 изображен процесс соглашения о вознаграждении за выполнение работы. Сплошной жирной линией обозначена функция $tdf(t)$, описывающая желательность результатов выполнения работы w^n для агента-инициатора переговоров, который ищет исполнителя для её выполнения. Штрих-пунктирными и пунктирной линиями обозначены функции $tdf(t)$ агентов-исполнителей, описывающие их готовность выполнить работу w^n. Точки пересечения функций $tdf(t)$ агентов являются точками соглашения. Эти точки описывают условия выполнения работы w^n, на которые согласны и инициатор переговоров и исполнитель.

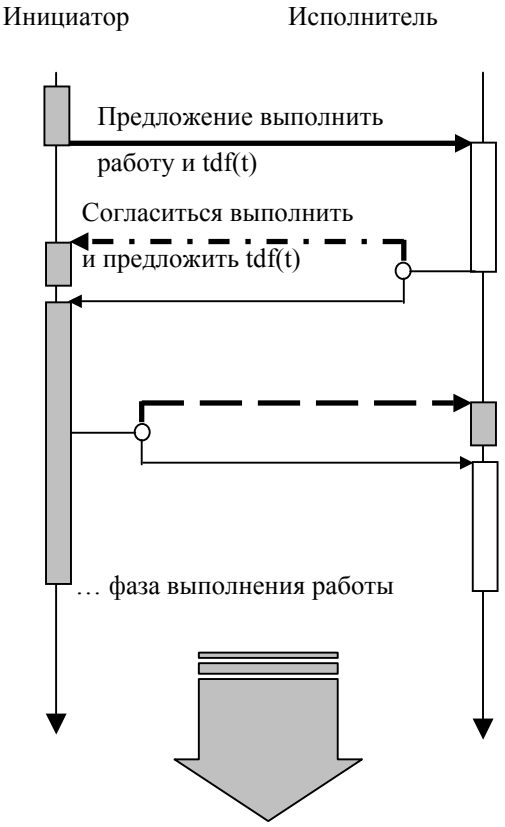


Рис. 3. Протокол переговоров.

4. ПРОТОКОЛ ПЕРЕГОВОРОВ

Целью процесса переговоров является поиск исполнителя для выполнения работы. В процессе переговоров участвуют агент-инициатор (далее будем называть его агент **I**), желающий поручить выполнение работы w, и агенты-исполнители (каждого из них будем обозначать агент **P**) – потенциальные исполнители работы w.

Итак, агент **I** желает найти исполнителя для работы w. Допустим, работу w могут выполнять несколько агентов – потенциальных агентов-исполнителей. Тогда с каждым из потенциальных агентов-исполнителей **P** агент **I** должен начать процесс переговоров, протокол которого изображен на рисунке 3.

Процесс переговоров начинается с того, что агент **I** предлагает выполнить работу w каждому из агентов **P** (эта фаза переговоров обозначена сплошной жирной линией на рисунке 3). Предложение выполнить работу должно состоять из названия работы, параметров её выполнения, и функции $tdf(t)$, описывающей вознаграждение, которое агент **I** готов заплатить за выполнение работы.

Агент **P**, получив предложение выполнить работу, должен на основании своей текущей загруженности, предыдущего опыта выполнения подобных задач, функции $tdf(t)$, предлагаемой агентом **I**, либо отказаться от выполнения работы, либо согласиться и сформировать свою функцию $tdf(t)$, описывающую вознаграждение, которое агент **P** желает получить за выполнение работы. Эта фаза переговоров обозначена штрих-пунктирной линией на рисунке 3.

Далее агент **I** должен проанализировать ответы согласившихся выполнить работу агентов **P,** определить среди них агента $\mathbf{P}^*$, который выполнит работу w с оптимальным сочетанием времени выполнения и размера вознаграждения, и поручить ему выполнение этой работы. Эта фаза переговоров обозначена пунктирной линией на рисунке 3.

Агенту $\mathbf{P}^*$ отсылается сообщение с поручением выполнить работу w. Остальные агенты получают информационное сообщение о том, что агент-исполнитель для работы w уже найден.

На этом процесс переговоров закончен и наступает фаза выполнения работы.

Если ни один из агентов **P** не согласился выполнить работу, то агент **I** должен либо пересмотреть свою функцию $tdf(t)$ и начать процесс переговоров с начала, либо отложить выполнение работы w на некоторое время.

Описанный протокол переговоров аналогичен протоколу FIPA CNP, предложенному в [8].

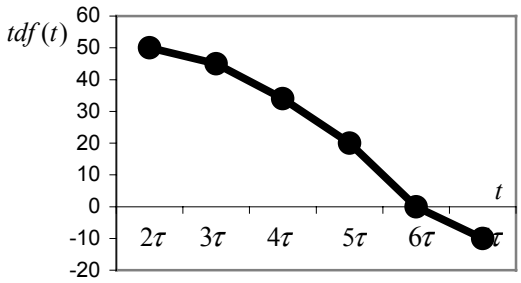


Рис. 4. Пример функции $tdf_I(t)$

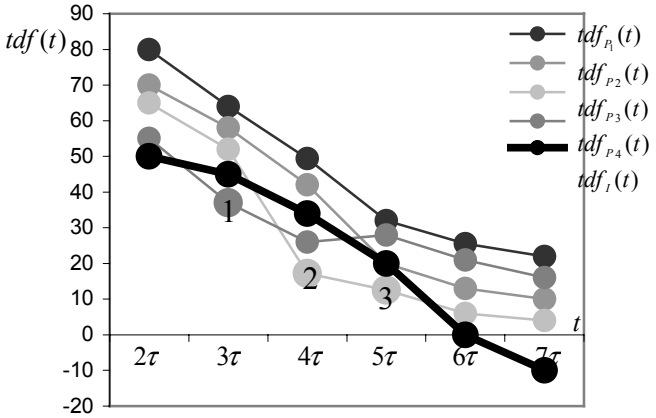


Рис. 5. Графики функций $tdf(t)$ агентов P и агента I.

5. МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ АГЕНТОМ-ИНИЦИАТОРОМ ПРОЦЕССА ПЕРЕГОВОРОВ

Агент-инициатор **I** хочет найти исполнителя для некоторой работы w_1. Для этого агент **I** должен сгенерировать функцию $tdf_I(t)$, описывающую зависимость максимального размера вознаграждения, которое агент **I** согласен заплатить за выполнение работы w_1, от времени выполнения работы. Далее, в соответствии с протоколом переговоров, агент **I** должен отправить предложение выполнить работу w_1 потенциальным агентам-исполнителям **P**.

Пример функции $tdf_I(t)$ изображен на рисунке 4.

Это означает, что если исполнитель (агент **P**) выполнит работу w_1 за время 2τ, то агент **I** готов заплатить ему не более, чем 50 единиц вознаграждения, если же работа w_1 будет выполнена за время 3τ - то не более, чем 45 единиц вознаграждения, и так далее, если работа w_1 будет выполнена за время 7τ, то агент **P** должен заплатить штраф в размере 10 единиц (это обозначено отрицательным значением функции). Каждый из агентов **P**, получив предложение выполнить работу, должен либо сгенерировать ответную функцию $tdf_P(t)$, либо отказаться от выполнения работы.

На рисунке 5 приведен пример функций $tdf_P(t)$ для четырёх агентов.

Получив от каждого из агентов **P** функцию $tdf(t)$, агент **I** должен определить, какому из агентов **P**, и на каких условиях (время выполнения и вознаграждение) поручить выполнение работы w_1. Другими словами необходимо найти оптимальную точку $(t, tdf(t))$ из таблицы функций $tdf_{P_i}(t)$. Очевидно, что ни одна из точек, которые находятся над графиком функции $tdf_I(t)$ (сплошная жирная линия на рисунках 4, 5) не является допустимой, так как агент **I** не согласен платить вознаграждение, большее, чем он указал в таблице функции $tdf_I(t)$. На рисунке 5 такими точками являются все точки функции $tdf_{P_1}(t)$ и некоторые точки функций $tdf_{P_2}(t)$, $tdf_{P_3}(t)$, $tdf_{P_4}(t)$.

Множество X точек $(t, tdf(t))$ из таблицы функций $tdf_{P_i}(t)$, которые удовлетворяют условию

$$(t, tdf) \in X \text{ если } ((tdf = \min(tdf_{P_1}(t), tdf_{P_2}(t), ..., tdf_{P_n}(t))) \wedge (tdf \le tdf_I(t))) \ (\forall t \in \mathrm{T}), \qquad (1)$$

будем называть множеством допустимых точек.

Таким образом, все допустимые точки лежат не выше графика функции $tdf_I(t)$. Допустимые точки обозначены на рисунке 5 цифрами 1, 2, 3 и выделены жирным маркером. Действительно, в точках 1, 2, 3 на рисунке 5 агенты **P** готовы выполнить работу w_1 за вознаграждение, не превышающее то вознаграждение, которое агент **I** указал в своей таблице функции $tdf_I(t)$.

Множество X допустимых точек удобно записывать в виде следующей таблицы:

Номер точки	Точка (t, tdf)	Агент, которому принадлежит эта точка
1	$(3\tau, 37)$	P_4
2	$(4\tau, 17.2)$	P_3
3	$(5\tau, 12.5)$	P_3

Если же множество допустимых точек окажется пустым, то агент **I** должен либо пересмотреть свою функцию $tdf_i(t)$ и предложить новые условия выполнения работы, либо отложить выполнение этой работы на более поздний срок, когда агенты **P** будут менее загружены.

Из множества X точек $(t, tdf(t))$ необходимо найти оптимальную, решая двухкритериальную задачу:

$$F(t^*(t, w_i), tdf^*(t, w_i, tdf(t))) \to \max, \quad (2)$$

где $t^*(t, w_i)$ - функция, описывающая критерий оценки времени выполнения работы w_i, то есть чем ближе время t выполнения работы w_i к оптимальному, тем больше значение функции $t^*(t, w_i)$. Причём, при $t = t_{опт}$ функция должна достигать максимума.

$tdf^*(t, w_i, tdf(t))$ - функция, описывающая критерий оценки размера премии агента, выполнившего работу w_i за время t.

Эту задачу будем решать при помощи метода линейной свертки. Предположим, что для агента **I** равнозначимы критерии времени и вознаграждения, поэтому задачу будем решать с параметрами $1, 1$. Таким образом, мы получим следующую целевую функцию двух переменных t и tdf:

$$F(t, tdf) = (t^*(t) + tdf^*(tdf)) \to \max. \quad (3)$$

Итак, нужно найти максимум этой функции на некотором множестве X точек (t, tdf). Формально решение этой задачи можно записать так:

$$\max_X (t^*(t) + tdf^*(tdf)). \quad (4)$$

Учитывая, что мощность множества допустимых точек X не велика, полученную задачу будем решать методом полного перебора.

6. ВЫВОДЫ

В статье предложена формальная модель поиска исполнителя для выполнения работы в динамической коалиции агентов. Эти агенты являются функциональными компонентами, способными выполнять некоторые задачи в пределах коалиции. Коалиции динамически формируются в процессе выполнения задачи. Агент присоединяется к коалиции при поручении ему работы.

При поиске исполнителя для новой работы в коалиции агенты должны взаимодействовать – вести переговоры. Процесс переговоров рассматривается как специальный тип координации, позволяющий найти оптимального исполнителя для работы. В качестве объекта переговоров в статье используется размер вознаграждения, которое получит агент-исполнитель за выполнение работы. Размер вознаграждения описывается таблично заданной функцией $tdf(t)$, зависящей от времени выполнения работы.

Протокол переговоров при поиске исполнителя (распределении работ) аналогичен протоколу FIPA CNP. В процессе переговоров участвуют два агента – агент-инициатор и агент-исполнитель. Агент-инициатор ведёт переговоры с несколькими агентами-исполнителями. Переговоры начинаются с того, что агент-инициатор предлагает агентам-исполнителям выполнить работу w за вознаграждение, описываемое функцией $tdf(t)$ агента-инициатора. Далее агенты-исполнители должны оценить свою возможность выполнить работу w и возвратить агенту-инициатору свою функцию $tdf(t)$, после чего агент-инициатор должен, на основании полученных функций $tdf(t)$ определить оптимального агента-исполнителя.

Под оптимальным исполнителем понимается исполнитель, который выполнит работу на наиболее выгодных для агента-инициатора условиях – времени выполнения и размере вознаграждения. Поиск оптимального исполнителя состоит в решении двухкритериальной задачи (2) с критериями времени

выполнения и размера вознаграждения. В качестве метода решения этой задачи предложен метод линейной свёртки.

Предложенная модель поиска исполнителя для выполнения работы позволяет эффективно распределять работы между агентами в динамической коалиции. Это обеспечивается параметрической обратной связью.

Модели и подход, представленные в этой статье, требуют дальнейшего развития. Следующие аспекты позволяют расширить и дополнить предложенную модель. Коэффициенты в методе линейной свертки влияют на решение двухкритериальной задачи (на выбор оптимального исполнителя). Для некоторых работ критерии времени и вознаграждения могут быть неравнозначными. Поэтому необходим механизм выбора значений для этих параметров. Кроме того, требует своей разработки модель принятия решения агентом-исполнителем, на основании которой агент-исполнитель будет составлять свою функцию $tdf(t)$, описывающую его возможности выполнить работу.

ЛИТЕРАТУРА

1. S. U. Borue, V. A. Ermolayev, V. A. Tolok: Application of Diakoptical MAS Framework to Planning Process Modelling. // "Проблемы программирования" научный журнал №1-2, 2000, ISBN 966-02-1244-5, спец. выпуск: Труды 2-й международной научно-практической конференции по программированию (УкрПРОГ'2000), Киев, 23-26.052000 г., стр. 488-500
2. Борю С. Ю., Ермолаев В. А.,Толок В. А. О диакоптическом подходе к моделированию процессов во многофункциональных информационных системах. // "Искусственный интеллект" научно-теоретический журнал №2, 1999, ISSN 1561-5359, спец. выпуск: Труды Международной конференции Знания - Диалог - Решение (KDS'99). Кацивели, 13-18.09.1999, стр. 211-219
3. 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", "Вісник Запорізького державного університету" №1, 2000, стр. 34-44.
4. Толок В.О., Борю С.Ю., Єрмолаєв В.А., Кеберле Н.Г., Плаксін С.Л., Міхайліченко В.В. Формальні принципи і методи взаємодії моделей функціональних об'єктів єдиного інформаційного простору ВУЗу. Проміжний звіт з д/б проекту № 10/99 Міністерства освіти і науки України, ЗДУ, Запоріжжя, 2000 р. 51 с.
5. Nwana, H. S. Software Agents: an Overview // Knowledge Engineering Review, Vol. 11, No 3, Oct./Nov. 1996., pp. 205-244.
6. N. R. Jennings: Coordination Techniques for Distributed Artificial Intelligence, in Foundations of Distributed Artificial Intelligence (eds. G. M. P. O'Hare and N. R. Jennings), Wiley, 1996, pp. 187-210.
7. V. A. Ermolayev, S. U. Borue, V. A. Tolok, Co-operative Tasks Execution by the Coalitions of Rational Software Agents // Submitted to the 5-th Intl. Workshop on Cooperative Information Agents (CIA'01), Sep 5-8, Modena, Italy
8. FOUNDATION FOR INTELLIGENT PHYSICAL AGENTS. FIPA Contract Net Interaction Protocol Specification. Version E. Ref. No XC00029E. 2001. http://www.fipa.org/specs/fipa00029/ Last accessed on 10 Apr. 2001.