

Принципы и модели онтолого-ориентированного управления сетевыми организациями с динамической структурой *

Н. Г. Шилов¹

Обусловленное развитием информационных технологий появление сложных систем, состоящих из независимых элементов и имеющих сетевую структуру, предъявляет новые требования к системам поддержки принятия решений, связанных с их управлением. В представленной работе предлагается интегрированный комплекс моделей для интеллектуальной поддержки принятия решений в области управления сетевыми организациями с динамической структурой.

Введение

В настоящее время в связи с развитием информационных и телекоммуникационных технологий появилось большое количество сложных систем, состоящих из независимых элементов и имеющих сетевую структуру. Такие системы принято называть сетевыми организациями (network organizations). К ним можно отнести: распределенные сети сенсоров (distributed sensor networks), сети источников знаний/информации, производственные сети и др.

Появление таких организаций предъявляет новые требования к системам поддержки принятия решений, связанных с их конфигурированием и управлением в целом. В статье предложены принципы и интеллектуальные модели для поддержки принятия решений при управлении сетевыми организациями как сложными объектами с динамической структурой.

С этой целью используются современные технологии из области искусственного интеллекта и телекоммуникаций, а именно, онтологическое представление проблемной области, мягкие вычисления, профилирование элементов (участников) сетевых организаций, Интернет и др. Эти техно-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 06-07-89242).

¹ 199178, С.-Петербург, 14 линия 39, СПИИРАН, nick@iias.spb.su

логии в настоящее время в мире оцениваются как наиболее перспективные. С ними связаны большие ожидания в области искусственного интеллекта и телекоммуникаций, поскольку они рассматриваются как путь слияния данных направлений.

В настоящее время рассматриваемая проблема весьма популярна. Это подтверждается такими фактами, как включение научных проектов по указанной тематике в 7-ю рамочную программу Европейской комиссии, поддержка проектов по данной тематике такими крупными компаниями, как DaimlerChrysler, ThyssenKrupp, BMW, Siemens и другие, проведение научных международных конференций по управлению сетевыми организациями, например [IPSN, 2007; PLM, 2008].

В современных проектах, относящихся к области поддержки принятия решений при управлении сетевыми организациями, особое внимание уделяется созданию интеллектуальных систем, т. е. систем, ориентированных на работу со знаниями. Данные системы используют такие технологии, как управление онтологиями, мягкие вычисления, профилирование, методы представления и обработки знаний и т. п.

В представленной работе предлагается интегрированный комплекс интеллектуальных моделей для интеллектуальной поддержки принятия решений в рассматриваемой области. С этой разработкой комплекс мультидисциплинарных интеллектуальных моделей, описывающих аспекты рассматриваемой задачи с использованием различных математических аппаратов (прикладной уровень). Данные модели предлагается объединять на основе общего онтологического представления проблемной области (абстрактный уровень). Для решения конкретных подзадач будут использованы методы и алгоритмы, наиболее эффективные и перспективные для каждого конкретного случая и основанные на современных технологиях искусственного интеллекта, в том числе из области мягких вычислений. Использование мультидисциплинарных моделей позволит интегрировать вышеуказанные методы и алгоритмы анализа и оценки эффективности сетевых организаций. Проверку работоспособности предлагаемой методологии планируется выполнить посредством научно-исследовательского прототипирования и динамического моделирования на основе разработки комплекса программных средств, объединяемых с помощью Интернет-сервисов и баз данных.

1. Общий подход к управлению сетевыми организациями

Обобщенно, задача управления сетевой организацией может быть определена следующим образом: определить эффективное размещение (*где на-*

ходятся?) и расписание (когда доступны?) заданных распределенных ресурсов (элементов сетевой организации), а также когда и какие из них необходимо использовать для выполнения поставленной задачи. В качестве критерия могут быть использованы такие показатели, как стоимость и/или время выполнения задачи. Также необходимо учитывать связи между ресурсами и их компонентами (например, ресурс может состоять из других ресурсов). Такое представление задачи на примере конфигурирования виртуального предприятия представлено на (рис. 1), где вершины представ-

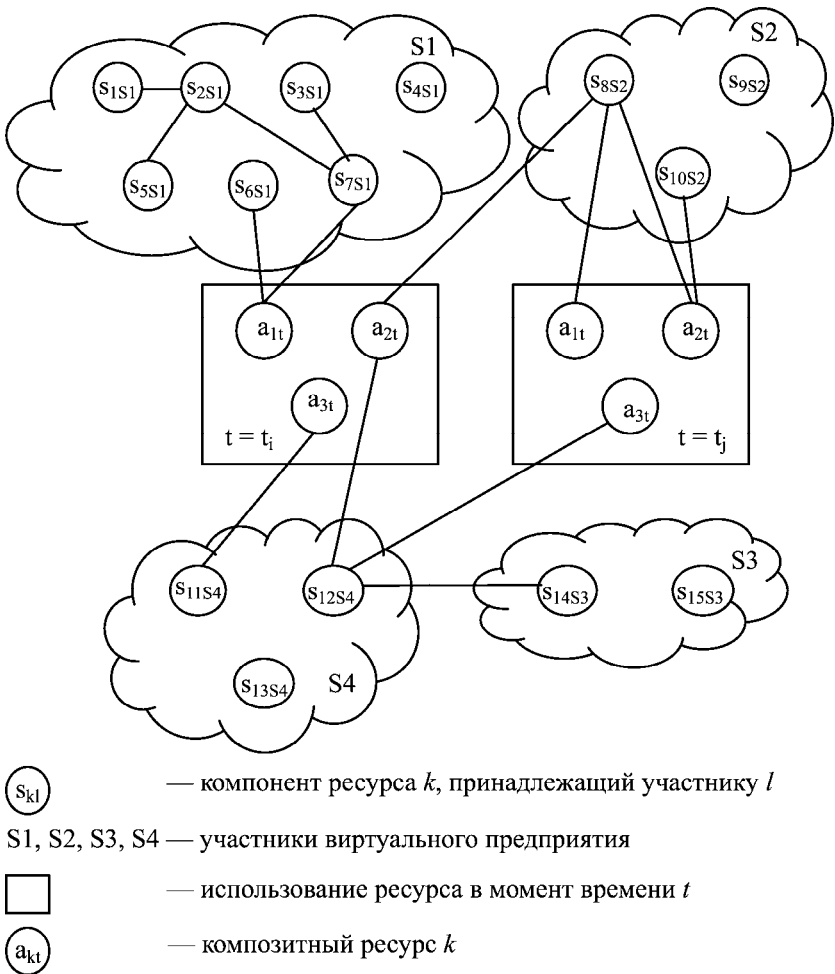


Рис. 1. Представление задачи конфигурирования сети

ляют собой ресурсы, дуги — отношения между ними («транспортировка», «использование» и др.). Термин «компози́тный ресурс» означает изначально несуществующий ресурс, создание которого требует использования других ресурсов

Организация процесса конфигурирования в системах поддержки процессов принятия управленческих решений, основанная на выборе и комбинировании типовых решений, требует использования знаний о предметной области. При этом возможно несколько подходов к организации процесса конфигурирования, зависящих от выбранного представления знаний [Клещев, 1981; Поспелов, 1990]. Первый основывается на технологии, использующей представление знаний в виде правил. При этом обычно используются только знания о внешних свойствах решений, а логический синтез решений имитирует действия эксперта. Примером таких систем является система R1/XCON [McDermott, 1982].

Второй основывается на технологии, использующей представление знаний в виде моделей ограничений (constraint-based models) [Faltings et al., 1992]. Данная технология используется для функциональной спецификации объекта и задания отношений между компонентами объекта (типовыми решениями) в виде ограничений, определяемых над компонентами и их атрибутами. Эти ограничения используются для выбора гипотетических конфигураций или как рекомендации для выбора компонент. Подобные системы являются более эффективными, чем системы первого типа. Однако при конфигурировании сложных структурированных объектов возникает комплекс проблем, связанных с наличием алгоритмически вычисляемых ограничений и необходимостью достижения баланса по некоторым видам требований между значениями отдельных атрибутов разных компонент.

Можно выделить ряд подзадач, составляющих задачу управления сетевой организацией. Рассмотрим пример конфигурирование такой организации под конкретную задачу. Для этого выделим следующие подзадачи: (1) выбор элементов сетевой организации среди имеющихся элементов — потенциальных участников сетевой организации, (2) размещение задачи (выбор конкретных ресурсов участников сетевой организации для выполнения работ, связанных с выполнением всей задачи), и (3) конфигурирование ресурсов (выбор параметров работы ресурсов, например, парка оборудования для производственной сети).

Поскольку задача конфигурирования ресурсов является объединением задачи о назначениях и задачи о составлении расписаний, для их решения целесообразно использовать технологии удовлетворения ограничений, основанные на существующих алгоритмах решения таких типовых задач. Задачи выбора элементов сетевой организации и размещения задачи не имеют типовых решений. Для их решения предлагается использование методов теории коалиционных игр, мягкие вычисления и многоагентное моделирование.

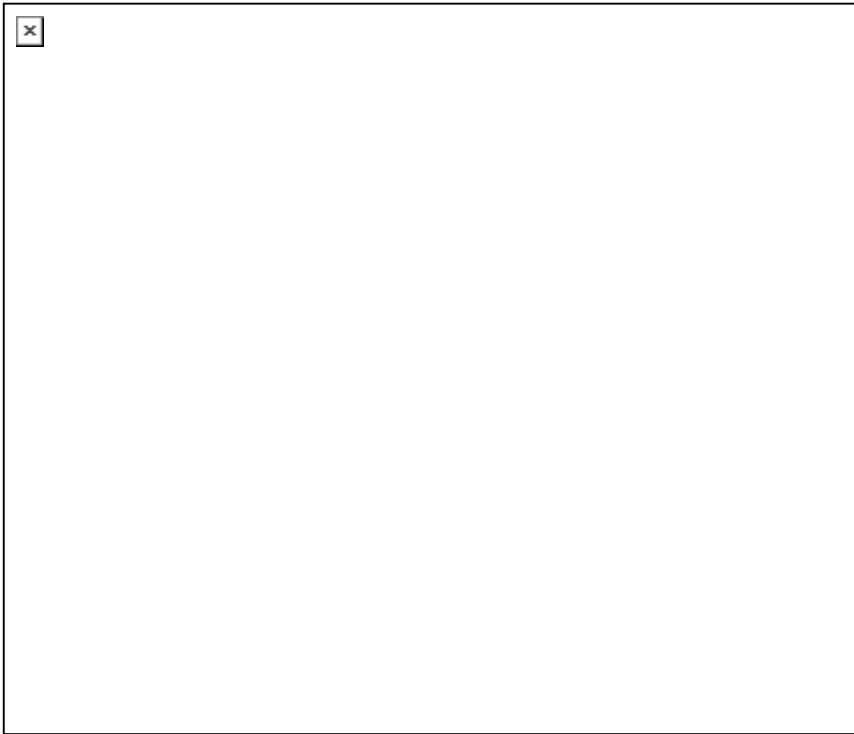


Рис. 2. Пример задачи, решаемой при конфигурировании сетевой организации

Данные задачи объединяются посредством интегрированной онтологической модели виртуального предприятия (рис. 2). В качестве условных обозначений, использованных на рис. 2, используется триада «входные данные — метод — выходные данные».

2. Основанная на ограничениях онтологическая модель сетевой организации

Для представления онтологической модели сетевой организации, служащей для интеграции моделей различных ее аспектов предлагается использование формализма, объединяющего фреймовое представление знаний и сети ограничений. Данный формализм позволяет реализовать двухуровневое моделирование проблемной области. Модель первого уровня

описывает структуру сетевой организации, а модель второго уровня содержит как структурные компоненты и связи, так и их конкретные характеристики, стратегии поведения и т. п. в контексте текущей ситуации. Это позволяет существенно ускорить процессы обработки информации при поддержке принятия решений, что является весьма важным при рассмотрении сетевых организаций с динамической структурой.

Согласно вышеуказанному формализму [Smirnov et al., 2007] структурная модель сетевой организации (модель, не содержащая конкретных значений параметров) описывается с помощью онтологии в формализме объектно-ориентированных сетей ограничений. Согласно данной нотации модель виртуального предприятия имеет следующий вид: $M = (O, Q, D, C)$, Данный формализм включает множество классов O и атрибутов Q , декартово произведение которых представляет собой множество переменных $V = \{v_1, \dots, v_n, \dots\}$. Каждая переменная принимает значение в соответствующей области $D(1), \dots, D(n), \dots$. Также описание включает множество ограничений C 6-ти типов ($C_1, \dots, C_6 \subset C$), определяющих, какие из значений переменных согласуются друг с другом, а также отношения между классами. Решение задачи удовлетворения ограничений есть присваивание значений каждой переменной таким образом, что все ограничения оказываются удовлетворенными. Используемый онтологический механизм описания знаний подразумевает наличие класса «*Thing*», являющегося родительским классом для всех классов онтологии, т. е. любой класс онтологии является прямым или опосредованным потомком (отношение «*быть экземпляром*») класса «*Thing*».

Рассмотрим задачу конфигурирования производственной сети как примера сетевой организации и динамической структурой. В качестве критериев оценки эффективности конфигурации относительно заданного заказа в выберем показатели себестоимости (qrc) и времени (qrt) выполнения этого заказа.

Заказ R описывается последовательностью технологических операций, необходимых для его выполнения в заданном объеме:

$$R = (\langle ar_1, qarw_1, qarc_1, quart_1 \rangle, \dots, \langle ar_k, qarw_k, qarc_k, quart_k \rangle, \dots, \langle ar_K, qarw_K, qarc_K, quart_K \rangle >, qrc, qrt),$$

где ar_k — k -я технологическая операция заказа, $qarw_k$ — необходимое «количество» k -й операции (объем, в котором должна быть выполнена данная операция), K — число технологических операций, необходимых для выполнения заказа, $qarc_k$, qrc , и $quart_k$, qrt — стоимость и время выполнения отдельной операции k и всего заказа соответственно.

Предприятия — потенциальные участники производственной сети описываются связанными с ними технологическими ресурсами с некоторыми характеристиками на определенный момент времени:

$$S_{it} = (rs_{1it}, qsw_{1it}), \dots, (rs_{lit}, qsw_{lit}), \dots, \left(rs_{L_{it}}, qsw_{L_{it}} \right), t = 1, \dots, T, i = 1, \dots, I,$$

где S_{it} — i -е предприятие на момент времени t , rs_{lit} — l -й технологический ресурс i -го предприятия на момент времени t , qsw_{lit} — доступная производственная мощность l -го технологического ресурса i -го предприятия на момент времени t , I — количество предприятий — потенциальных участников виртуального предприятия, L_{it} — число ресурсов i -го предприятия на момент времени t , T — продолжительность жизненного цикла системы.

Поскольку типы операций, необходимые для выполнения заказа и выполняемые предприятиями — участниками производственной сети, могут не совпадать, разработанная модель содержит:

- вспомогательное множество типовых технологических операций: $(a_1, \dots, a_j, \dots, a_J)$, где a_j — j -я типовая операция, J — общее число типовых технологических операций в модели;
- множество отношений, ставящих в соответствие типовым операциям технологические ресурсы предприятий — участников виртуального предприятия: $(a_j, qsc_{ijit}, qst_{ijit}, qaw_{ijit})$, где a_j — j -я типовая операция, а qsc_{ijit} , qst_{ijit} , qaw_{ijit} — соответственно стоимость, время и производственная мощность необходимые для выполнения j -й типовой операции l -м технологическим ресурсом i -го предприятия на момент времени t ;
- множество отношений, ставящих в соответствие типовым операциям операции, необходимые для выполнения заказа ($\{ \langle ar_k, a_j, qaw_{jk} \rangle \}$), где qaw_{jk} — количество (объем, в котором должна быть выполнена данная операция) типовой операции a_j , необходимое для выполнения операции ar_k .

Упрощенный пример описания заказа представлен на рис. 3. В данном примере заказом является производство автомобильной коробки передач (Transmission), состоящей из двух валов с шестернями (Shaft&Gears) и корпуса (Box). На рисунке представлена последовательность операций заказа для производства вала I-957T. Для данных операций заказа типовые операции еще не назначены (Undefined).

Вышеперечисленные элементы модели виртуального предприятия и элементы выбранной нотации соотносятся следующим образом (индексы атрибутов опущены):

$$R, ar_k (k = 1, \dots, K), S_i, rs_{li} (l = 1, \dots, L_i; i = 1, \dots, I), a_j (j = 1, \dots, J) \in O \text{ (классы);}$$

$$qarw, qarc, quart, qrc, qrt, qsw, qsc, qst, qaw \in Q \text{ (атрибуты);}$$

$$qarw, qarc, quart, qrc, qrt, qsw, qsc, qst, qaw \in \mathfrak{R}^+ \subset D \text{ (домен);}$$

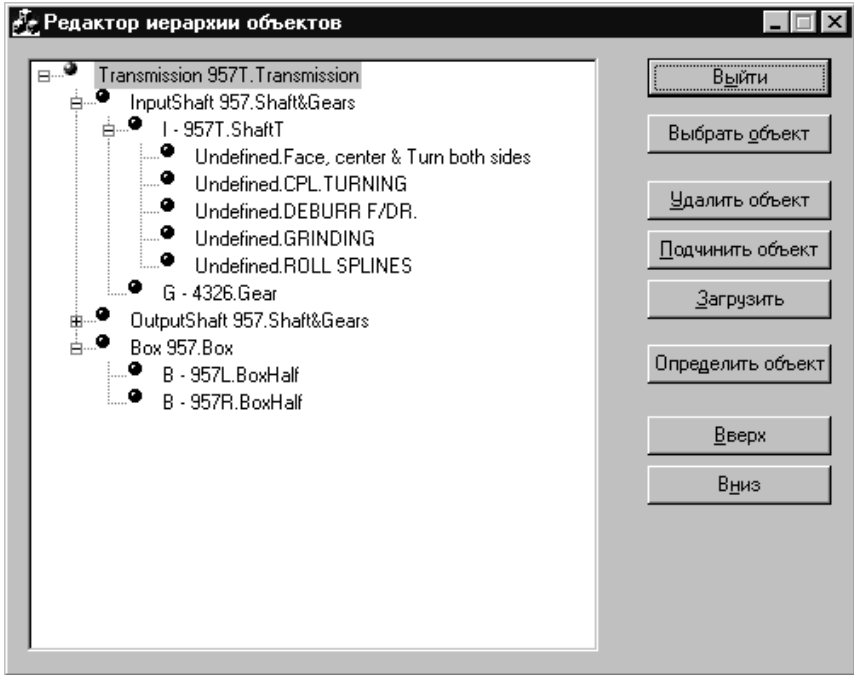


Рис. 3. Пример диалогового окна, представляющего производственный заказ

Ограничения описываются следующим образом (данный список демонстрирует все типы используемых в модели ограничений на основе соответствующих им примеров):

$\langle R, qrc, \mathcal{R}^+ \rangle, \langle R, qrt, \mathcal{R}^+ \rangle \in C_1$ (ограничения, описывающие отношение «являться атрибутом»: «себестоимость» и «время выполнения заказа» являются атрибутами класса «заказ»);

$\langle Thing, R \rangle \in C_2$ (ограничение, описывающее отношение «быть экземпляром»: класс «заказ» является экземпляром класса «Thing»);

$\langle R, ar_k \rangle \in C_3$ (ограничение, описывающее отношение «часть-целое»: класс «операция заказа» является составной частью класса «заказ»);

$\langle a_j, rs_{li} \rangle \in C_4$ (ограничение совместимости: l -й ресурс i -го предприятия совместим с j -й типовой операцией на момент времени t);

$\langle ar_k, rs_{li} \rangle \in C_5$ (ограничение, описывающее ассоциативное отношение: k -я операция заказа ассоциирована с l -м ресурсом i -го предприятия на момент времени t);

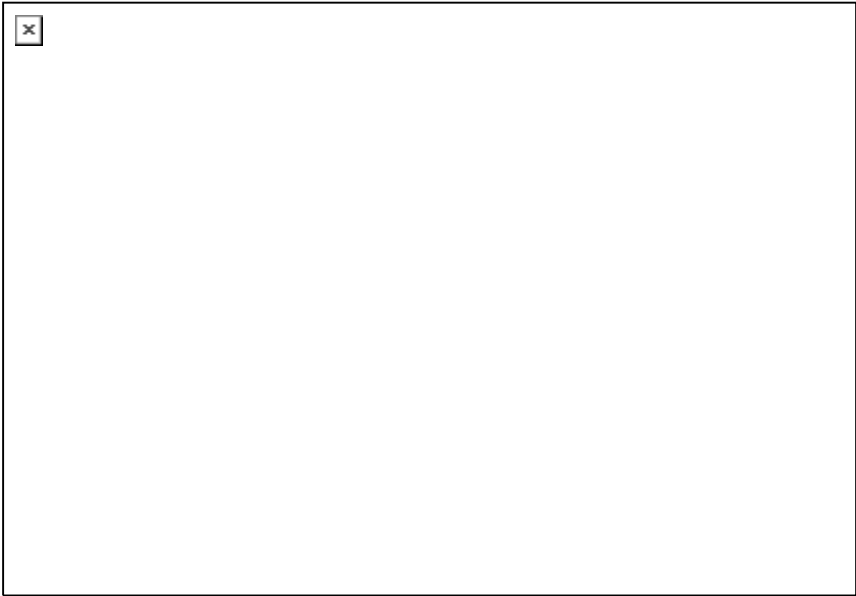


Рис. 4. Онтологическая модель производственной сети на макроуровне

$$\left(qrc_R = \sum_{k=1}^{K_R} qarc_k \right) \in C_6 \text{ (функциональное ограничение: себестоимость}$$

выполнения заказа равна сумме себестоимостей выполнения операций заказа).

Графическая интерпретация данной модели представлена на рис. 4.

Заключение

Описание проблемной области на основе комплекса мультидисциплинарных интеллектуальных моделей, интегрируемых посредством общей онтологии проблемной области, предоставит возможность разбиения комплексной проблемной области на более простые подзадачи, а также использования существующих моделей и онтологий, описывающих различные аспекты рассматриваемой проблемной области.

Двухуровневое моделирование проблемной области, в отличие от одноуровневого, позволит разделить структурное и контекстное представление проблемной области. Под контекстным представлением проблемной

области в данном случае понимается модель последней с актуальными данными, соответствующими конкретной ситуации.

Онтологическое описание сетевых организаций с помощью единого формализма, в отличие от других методов описания, позволит избежать повторной формализации проблемы при структурном синтезе их облика.

Представление знаний об облике сетевых организаций на основе формализма объектно-ориентированных сетей ограничений позволит интегрировать объектно-ориентированное представление информации и знаний с технологией удовлетворения ограничений.

Использование типовых решений при управлении сетевыми организациями с динамической структурой позволит повысить эффективность технологии удовлетворения ограничений за счет использования схем, основанных на знании типовых решений (известных базовых структур сетевых организаций).

Литература

1. Клецев А. С. Представление знаний: Методология и формализм. Прикладная информатика. М.: Финансы и статистика, 1981. № 2. С. 36–47.
2. Поспелов Д. А. (ред.) Справочник по искусственному интеллекту. М.: Радио и связь, 1990. Т. 1, 2.
3. Faltings B., Haroud D., Hua K., Kimberly G., Smith I. Dynamic Constraint Satisfaction in a Bridge Design System. Expert Systems in Engineering Principles and Applications (Eds. G. Gottlob, W. Nejdl), Lecture Notes in Artificial Intelligence / Springer-Verlag, 1992. № 462. С. 217–232.
4. IPSN, Information Processing in Sensor Networks, 2007. <http://www.cse.wustl.edu/~lu/ipsn07.html>
5. McDermott J. R1: A rule-based configuration of computer systems. / AI. 1982. V. 1. № 19. С. 39–88.
6. PLM, Product Lifecycle Management. 2008. <http://www.plm-conference.org>
7. Smirnov A., Levashova T., Shilov N. Semantic-oriented support of interoperability between production information systems. International Journal of Product Development / Inderscience Enterprises Ltd. Vol. 4. No. 3/4. 2007. С. 225–240.