УДК 621.391

КООРДИНАЦИЯ АГЕНТОВ В МОДЕЛИ ДОГОВОРНЫХ СЕТЕЙ

А. В. Холодкова

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина

Проведено исследование многоагентной системы управления телекоммуникационной сетью. Рассмотрен процесс кооперации агентов на основе модели договорных сетей применительно к решению задачи оптимальной загрузки телекоммуникационной системы. Приведены математические соотношения, описывающие взаимодействие агентов в кооперации. Изложена методика расчета стоимости системы в зависимости от ее технических параметров. Описан предложенный метод выбора одного реального агента-исполнителя из множества агентов-исполнителей по результатам оценки стоимости одной и той же сети в условиях влияния на результат решения задачи других агентов.

A multi-agent system of telecommunication network control has been investigated. A process of agents' cooperation based on the model of contractual networks to be applied for solving the problem of the telecommunication system optimal loading is considered. Mathematical relations describing the agents' interaction in cooperation are given. A technique for the system cost calculation in dependence on its technical parameters is expounded. The method of a real agent-performer selection from various agent-performers based on the cost estimation of the same network under the influence of other agents on the result of this problem solution is described.

Введение

В телекоммуникационных системах различного назначения существует проблема качественной доставки информации при ограниченном наборе сетевых ресурсов [1]. Одним из перспективных путей решения этой проблемы является использование интеллектуальных многоагентных систем (МАС) [2]. Основой МАС является агент, который взаимодействует с телекоммуникационной сетью, решая определенный круг задач. Для повышения эффективности решения этих задач отдельные агенты объединяются в кооперации. Кооперация означает коллективную работу агентов в интересах получения совместных результатов [3]. Объединение агентов в реальную или виртуальную группы способствует лучшему обмену информацией между ними и позволяет выработать набор стратегий поведения. Увеличение численности агентов способствует повышению эффективности и надежности МАС.

Модели кооперации агентов

В МАС индивидуальный агент практически никогда не располагает точной информацией о предпочтениях других агентов. Принимая решение, он должен прогнозировать ответные действия других агентов, основываясь на своем собственном опыте. Чтобы обойти эффект ограниченного прогнозирования, когда невозможно сделать точный прогноз или определить четкую стратегию индивидуального выбора, используются модели теории игр. При этом предполагается, что количество агентов и их индивидуальные характеристики фиксированы и известны всем агентам. Все агенты обладают одним стереотипом мышления, и об этом знает каждый агент. Набор альтернатив для каждого игрока и тип поведения каждого из них также фиксированы и известны всем другим агентам.

Все эти предположения ограничивают области применения традиционной теории игр для формализации взаимодействий агентов. Поэтому особое значение приобретает построение протоколов взаимодействия [3]. Здесь структуру взаимодействия можно представить как пример последовательного принятия решений.

Существует последовательность моментов принятия решений агентами, которые зависят друг от друга. У агента, принимающего решение, есть возможность, установив обратную связь, по результату решения обновить свои знания таким образом, чтобы на следующей стадии принимать решение с большей информацией. Механизм последовательного принятия решений является основой построения различных моделей ведения переговоров. Наиболее широко распространенной моделью кооперации агентов является модель договорных (контрактных) сетей Смита.

Модель договорных сетей позволяет реальным агентам-исполнителям выполнять одновременно несколько задач. Для каждого реального агента-исполнителя формируется пакет текущих задач. При добавлении к этому пакету новой задачи учи-

© 2010, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

тываются не только ее характеристики, но и уже принятые обязательства. Эти достоинства модели договорных сетей наряду с простотой реализации предопределяют целесообразность ее выбора для решения задач управления в телекоммуникационных системах. Недостатком данной модели является отсутствие разработанного механизма выбора реального агента-исполнителя в задачах оптимальной загрузки телекоммуникационных сетей. Поэтому развитие модели договорных сетей применительно к решению указанных задач представляет значительный практический интерес.

Постановка задачи

Целью работы является алгоритмизация и исследование кооперации агентов на основе модели договорных сетей применительно к задачам оптимальной загрузки телекоммуникационной сети, проведение численного анализа для оценки стоимости системы в зависимости от ее технических параметров и выбор на основании этого анализа реального агента-исполнителя в условиях влияния на результат решения задачи других агентов.

Для достижения поставленной цели в работе предлагаются методика исследования кооперации и взаимодействия агентов при решении задач управления и оптимизации загрузки в телекоммуникационных сетях, а также метод выбора реального агента-исполнителя на основе результатов оценки стоимости системы в зависимости от ее параметров различными агентами-исполнителями. Предложенный метод дает возможность получить новые результаты относительно применения модели договорных сетей в области телекоммуникаций.

Координация агентов в модели договорных сетей

Модель договорных (контрактных) сетей Смита предназначена для координации агентов при распределении задач управления в телекоммуникационных сетях. Каждый узел сети изображает агента, способного выполнять определенные задачи. Если в процессе решения задачи один агент-пользователь оказывается не в состоянии найти решение самостоятельно, то он обращается за помощью к агентам-исполнителям. Обычно агент это делает не самостоятельно, а через посредника, который называется агентом-менеджером. Этот агент является мобильным (передвигающимся по сети) в отличие от других агентов, расположенных в своих узлах. Из числа агентов-исполнителей выбирается реальный агент-исполнитель. В результате между агентом-пользователем и реальным агентом-исполнителем устанавливается взаимодействие. Данное взаимодействие осуществляется через агента-менеджера. После определения реального агента-исполнителя агент-менеджер перемещается в его узел для посылки реальному агенту-исполнителю нового запроса на передачу информации. После получения на этот новый запрос ответа от реального агента-исполнителя агент-менеджер перемещается обратно в свой узел и передает ответ на запрос агенту-пользователю.

Обобщенная модель агента A является множеством отдельных моделей, содержащих информацию об объекте управления $M_{\text{оу}}$, окружающей среде $M_{\text{ос}}$, о других агентах $M_{\text{да}}$, а также знания о взаимодействии с другими агентами МАС $M_{\text{ва}}$ и общие знания $M_{\text{оз}}$.

Общие знания представляют собой утверждения, которые находятся в базе данных знаний всех агентов и известны всем агентам. Каждый из агентов знает, что все агенты знают об этом. Тогда обобщенную модель агента можно представить в виде следующего множества:

$$A = (M_{\text{оу}}, M_{\text{ос}}, M_{\text{да}}, M_{\text{ва}}, M_{\text{оз}}).$$

Взаимодействие агентов описывается следующими моделями: протоколов взаимодействия между агентами $M_{\text{пв}}$; распознавания критических ситуаций в многоагентной системе $M_{\text{рс}}$, когда эффективность управления становится ниже допустимого уровня; распределения ресурсов ТКС $M_{\text{рр}}$; координации при совместном использовании ресурсов $M_{\text{кр}}$. Тогда модель взаимодействия агентов можно представить в виде следующего подмножества:

$$M_{\text{ва}} = (M_{\text{пв}}, M_{\text{рс}}, M_{\text{рр}}, M_{\text{кр}}).$$

Основной проблемой при разработке модели взаимодействия агентов является согласование их совместной работы. Все агенты в МАС имеют свои показатели эффективности. В некоторые моменты времени эти показатели могут быть противоречивы. Поэтому задача состоит в том, чтобы не допустить снижения эффективности многоагентной системы управления телекоммуникационной сетью в целом.

Выбор реального агента-исполнителя

Рассмотрим процесс кооперации агентов в МАС на основе модели договорных сетей и представим его в виде математической модели. Затем применим данную модель для решения одной и той же задачи разными агентами. Результаты решения указанной задачи будут являться основанием для выбора реального агента-исполнителя. Рассмотрим общий

случай координации агентов и применим полученные соотношения для решения конкретной задачи.

Допустим, что агенту-пользователю необходимо передать другому агенту-пользователю информацию с определенными параметрами. Такими параметрами могут быть пропускная способность канала связи, емкость запоминающего устройства, скорость передачи информации и т.д.

Все необходимые для передачи информации параметры объединим в одном обобщенном показателе качества телекоммуникационной системы, который требуется обратить в максимум путем оптимизации [5]. Считаем известным ряд показателей качества системы J_{ki} на *i*-ом участке телекоммуникационной сети. Здесь $k = 1, 2, ..., K_i$; $i = 1, 2, ..., I$; K_i — число учитываемых параметров качества; I — число анализируемых участков сети. Совокупность этих характеристик позволяет оценить качество всей системы, насколько она отвечает необходимым требованиям. Обобщенный показатель качества представим формулой

$$J = \sum_k \alpha_k \sum_i J_{ki} , \qquad (1)$$

где α_k — весовые коэффициенты при *k*-ом показателе качества. Применение весовых коэффициентов α_k позволяет привести все технические параметры (показатели качества) к некоторой единой системе измерения, соответствующей выбранному смыслу обобщенного показателя качества телекоммуникационной сети.

Для проведения оптимизации согласно (1) необходимо выработать систему ограничений, которые должны выполняться в процессе решения задачи. Выделим из множества рассматриваемых технических параметров основной показатель, например, J_2 и потребуем, чтобы он в результате оптимизации достигал максимального значения, а все другие соответствовали системе неравенств:

$$J_1 \le J_{1\text{тр}};\ J_3 \le J_{3\text{тр}};\ J_4 \le J_{4\text{тр}}; \ldots, \qquad (2)$$

где $J_{k\text{тр}}$ — значения показателей, обусловленные техническими требованиями. Если в системе имеют место случайные процессы, то общий критерий следует записать с учетом вероятности P выполнения всех технических требований

$$J = P(J_1 \le J_{1\text{тр}}; J_2 \ge J_{2\text{тр}}; J_3 \le J_{3\text{тр}}; ...) , \qquad (3)$$

и в процессе оптимизации добиться его максимума.

Применение выражений (2) и (3) позволяет объединить различные показатели качества (технические параметры) в единый многокомпонентный составной математически простой критерий, что значительно облегчает задачу оптимизации. Соотношения (1), (2) и (3) могут быть реализованы для оценки показателя качества по одному критерию: цене или эффективности. Выберем в качестве такого оценочного параметра критерий стоимости.

Применим полученные соотношения для решения задачи кооперации агентов с использованием денежной меры стоимости. Составим уравнение, связывающее функциональной зависимостью стоимость телекоммуникационной сети со значениями ее технических параметров. Поскольку технические параметры сети находятся в разных системах измерения, приведем их к некоторой единой мере, соответствующей выбранному виду стоимости. Для этого умножим каждый из технических параметров на соответствующий весовой коэффициент. Тогда стоимость всей сети на основании (1) можно представить в виде суммы стоимостей, определяемых техническими параметрами:

$$V = \sum_k \delta_k \sum_i J_{ki} , \qquad (4)$$

где V — стоимость системы; δ_k — весовой коэффициент при *k*-ом техническом параметре, обеспечивающий ему размерность стоимости; остальные обозначения те же, что и в формуле (1).

Проиллюстрируем применение соотношения (4) для решения задачи в соответствии с описанной процедурой, когда рассматриваются два основных параметра для определения реального агента-исполнителя. Пусть это будут пропускная способность C_i канала передачи на *i*-ом узле коммутации (УК) телекоммуникационной сети и суммарная емкость памяти W_i, выделяемая для очередей пакетов на *i*-ом УК. Поскольку рассматриваемая задача решается в приближении двух параметров C_i и W_i, то в данном случае $I = 2$. Размерность весовых коэффициентов выбираем так, чтобы все слагаемые в (4) имели размерность стоимости. Тогда при учете в (4) двух технических параметров C_i и W_i получаем для стоимости сети

$$V = \alpha_C C_i + \alpha_W W_i ,$$

где α_C, α_W — весовые коэффициенты при технических параметрах C_i и W_i.

Оптимальность многоагентной системы обеспечивается выполнением условия

$$V = \min \sum_k \delta_k \sum_i V_{ki} ,$$

где V_{ki} — стоимости компонентов телекоммуникационной сети, зависящие от их внутренних параметров; остальные обозначения те же, что и в (4).

Синтез оптимальной телекоммуникационной сети включает минимизацию стоимости в соответствии с уравнением (4) как суммы стоимостей ее отдельных компонентов при ограничениях на области изменения технических параметров. Эти ограничения зависят от внешних условий и требований, предъявляемых к системе передачи информации [5].

Для оценки указанных ограничений рассмотрим процесс передачи сообщений в телекоммуникационной сети. Допустим, что входной поток информации размещается в запоминающем устройстве на узле i сети для дальнейшей передачи трафика конечному пользователю. Интенсивность общего потока информации q-го типа между узлами i и j обозначим как $T_{i,j}^{q}$. Предположим, что для передачи этого потока из общего объема запоминающего устройства W_i выделяется емкость памяти $U_{i,j}^{q}$. Текущее значение объема данных, находящихся в запоминающем устройстве, примем равным $N_{i,j}^{q}$.

Если при передаче трафика $T_{i,j}^{q}$ текущее значение объема данных $N_{i,j}^{q}$ окажется больше $U_{i,j}^{q}$, то выделенная емкость памяти $U_{i,j}^{q}$ увеличивается до значения $N_{i,j}^{q}$. Этот процесс можно описать с помощью следующих зависимостей:

$$N_{i,j}^{q} = N_{i,j}^{q}, N_{i,j}^{q} \le U_{i,j}^{q};\ N_{i,j}^{q} = U_{i,j}^{q}, N_{i,j}^{q} > U_{i,j}^{q}.$$

Общий объем памяти, выделяемый для передачи всего потока информации между узлами i и j, не должен быть меньше суммы емкостей памяти, выделяемой под каждый вид трафика

$$U_{i,j} \ge \sum_{q} U_{i,j}^{q},$$

где $q = 1, 2, ..., Q$; Q — количество видов трафика.

Величина общего объема запоминающего устройства W_i определяется конфигурацией телекоммуникационной сети и находится в пределах

$$W_{i\min} \le W_i \le W_{i\max},$$

где $W_{i\min}$ — минимальная суммарная емкость памяти для i-го компонента, при которой сохраняется работоспособность сети; $W_{i\max}$ — максимальный объем памяти, определяемый условиями физической реализуемости i-го компонента.

Пропускная способность i-го участка телекоммуникационной сети имеет пределы изменения

$$C_{i\min} \le C_i \le C_{i\max}.$$

Таким образом, применительно к рассматриваемой модели договорных сетей, каждый агент-исполнитель проводит решение задачи в соответствии с предложенным методом и предоставляет агенту-пользователю найденную им стоимость сети. По результатам сравнения полученных разными агентами стоимостей одной и той же сети проводится выбор одного реального агента-исполнителя. У кого из агентов числовой показатель стоимости V будет меньше, с тем и будет производиться дальнейшее сотрудничество.

Заключение

Рассмотрен процесс координации агентов в модели договорных сетей применительно к решению задачи оптимальной загрузки телекоммуникационной системы. Предложена методика анализа взаимодействия агентов в многоагентной системе управления телекоммуникационной сетью. Разработан метод выбора реального агента-исполнителя на основе определения стоимости сети в условиях влияния на результат решения задачи других агентов. Предложенный метод способствует улучшению координации агентов в МАС.

Получены математические соотношения и составлен алгоритм для определения стоимости системы в зависимости от значений ее технических параметров. По результатам расчетов определяется агент-исполнитель, взаимодействие которого с агентом-пользователем способствует повышению эффективности передачи информации по телекоммуникационной сети.

Полученные результаты могут быть применены для повышения эффективности модели договорных сетей за счет введения в алгоритм решения задачи специальных агентов-консультантов, которые могут оказывать помощь агентам-координаторам при оповещении агентов-исполнителей и обработке предложений.

Литература

1. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / За заг. ред. В. В. Поповського. — Х.: Сміт, 2006. — 564 с.

2. Дольф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. — М.: ЛБЗ, 2004. — 832 с.

3. Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. — М.: Эдиториал УРСС, 2002. — 352 с.

4. Пашкеев С. Д., Минязов Р. И., Могилевский В. Д. Методы оптимизации в технике связи. — М.: Связь, 1976. — 272 с.

5. Сервинский Е. Г. Оптимизация систем передачи дискретной информации. — М.: Связь, 1974. — 336 с.

6. Шринивас В. Качество обслуживания в сетях IP. — М.: Вильямс, 2003. — 368 с.

Поступила после переработки 17.11.2010