

## МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МНОГОАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ДИНАМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ДОГОВОРНЫХ СЕТЕЙ

### Введение

В настоящее время существует проблема качественной доставки информации при ограниченном наборе сетевых ресурсов, которая должна решаться на основе децентрализованного подхода. На сегодняшний день одним из перспективных путей решения этой проблемы является использование интеллектуальных многоагентных систем (МАС). Основой МАС является агент, который взаимодействует со средой (в нашем случае с телекоммуникационной сетью, ТКС), решая определенный ряд задач. Существует такое понятие как кооперация агентов и начальным моментом кооперации агентов является стремление агентов объединить свои индивидуальные усилия. Объединение агентов в реальную или виртуальную группу способствует знакомству агентов и их притяжению друг к другу. Жизнь агентов в группе позволяет имитировать поведение других агентов, а также пополнять набор стратегий поведения. В свою очередь, размножение агентов дает существенные преимущества в плане увеличения эффективности и надежности МАС. Понятие кооперации агентов играет центральную роль в МАС. Кооперация между агентами означает их коллективную работу в интересах получения совместных результатов.

### Модели кооперации агентов

В МАС интеллектуальный агент практически никогда не располагает точной информацией о предпочтениях других агентов. Принимая решение, он должен прогнозировать действия других агентов, выбор которых, в свою очередь, зависит от его собственных действий. Это ведет к появлению эффекта «ограниченного прогнозирования», когда невозможно сделать точный прогноз или доверять определить четкую стратегию индивидуального выбора. Для того чтобы обойти эффект «ограниченного прогнозирования», в модели теории игр ставятся следующие ограничения:

- 1) предполагается, что и количество агентов и их индивидуальные характеристики зафиксированы и известны всем агентам;
- 2) также все агенты должны быть разумны и каждый агент знает, что все остальные агенты разумны. Следовательно, набор альтернатив для каждого игрока зафиксирован и известен;
- 3) выдвигается допущение, что тип поведения каждого агента также зафиксирован и известен всем другим агентам.

Все эти предположения ограничивают сферу применения традиционной теории игр для формализации взаимодействий агентов. Поэтому исследователи придают особое значение построению протоколов взаимодействия. Структуру взаимодействия можно представить как пример последовательного принятия решений. Основные характеристики модели последовательного принятия решений в МАС: а) существует последовательность точек принятия решения агентами, которые зависят друг от друга; б) у лица, принимающего решение, есть возможность, установив обратную связь по результату решения, обновить свои знания для того, чтобы на следующей стадии принимать решение с большей информацией. В настоящее время механизм последовательного принятия решений является основой, на которой базируются различные модели ведения переговоров. Самыми распространенными моделями кооперации агентов являются:

- модель договорных (контрактных) сетей Смита;
- модель аукциона;
- протокол монотонных минимальных уступок;
- модель социальных зависимостей Кастельфранши и Контэ.

В данной статье будет рассмотрен процесс кооперации агентов на основе модели договорных сетей.

### Процесс координации в модели договорных сетей

Модель контрактных (договорных) сетей разработана Р.Смитом (рис.1), предназначена для координации агентов в системах распределенного решения задач. Каждый узел сети – это агент, способный выполнять определенные задачи. Если в процессе решения задачи один агент (пользователь) оказывается не в состоянии найти решение самостоятельно, то он обращается к другим агентам – агентам-исполнителям. Обычно агент это делает не самостоятельно, а через посредника, который называется агентом-менеджером. Это агент реализован как мобильный агент, который передвигается по сети, а другие агенты расположены в своих узлах. Из числа агентов-исполнителей выбирается реальный агент-исполнитель. В результате между агентом-пользователем и реальным агентом-исполнителем устанавливается взаимодействие. Взаимодействие осуществляется через агента-менеджера. После того, как был определен реальный агент-исполнитель, агент-менеджер перемещается в его узел для передачи нового запроса. И после того, как реальный агент-исполнитель дал ответ на этот запрос агент-менеджер перемещается обратно и передает ответ на запрос агенту-пользователю. Исходя из этой модели, процесс взаимодействия агентов можно описать набором:

$$INT = (A, RR, \rho, P), \quad (1)$$

где  $A$  – множество агентов;  $RR$  – множество ролей агентов;  $\rho: A \rightarrow RR$  – функция распределения ролей.



Рис. 1

Общий протокол взаимодействий между агентами можно описать набором:

$$P = \{COM, SRT, \pi\} \quad (2)$$

где  $P$  – общий протокол взаимодействий между агентами;  $COM$  – множество коммуникативных действий агентов;  $SRT$  – множество стратегий взаимодействия;  $\pi$  – протоколы для отдельных ролей.

В данном случае  $RR = \{\text{агент-пользователь, агент-исполнитель, реальный агент-исполнитель}\}$ .  $\rho(a_0) = \text{агент-пользователь}$ ,  $\rho(a_1) = \text{реальный агент-исполнитель}$ ,  $\rho(a_2) = \dots = \rho(a_n) = \text{агент-исполнитель}$ . Протокол взаимодействия представляет собой множество правил, управляющих взаимодействием. Для его определения необходимо задать множество возможных состояний их взаимодействия (например, запрос принят, взаимодействие закончено), возможные действия агентов и стратегии взаимодействия. Простейшее множество действий может быть задано в виде  $COM = \{\text{начать, закончить, сообщить, предложить, принять, отвергнуть}\}$ . Стратегия взаимодействия может определяться знанием предыдущего состояния партнера и информацией о текущем процессе взаимодействия.

### Реализация выбора реального агента-исполнителя МАС ДУ ТКС на основе модели договорных сетей

Как уже говорилось выше, каждый узел сети – это агент, который способен выполнять определенные задачи. Например, агенту-пользователю (рис.1) необходимо передать информацию с определенными параметрами. К параметрам передачи информации относятся: пропускная способность канала передачи, емкость запоминающего устройства (ЗУ), скорость передачи информации и т.д. В данном случае выделяем два основных параметра, по которым будем определять реального агента-исполнителя. Это пропускная способность канала передачи на  $i$ -м узле коммутации –  $\Delta F_i$  и  $W_i$  – суммарная емкость памяти, выделяемая для очередей пакетов на  $i$ -м УК. Величина, которая объединяет все необходимые параметры для передачи информации, представляет собой числовой показатель качества системы  $J$ , который требуется в результате оптимизации обратить в максимум. Так как нам известен ряд показателей качества системы  $J_i$ ,  $i=1,2,\dots$ , где, например,  $J_1$  – время обработки пакета на  $i$ -м узле коммутации;  $J_2$  – суммарная емкость памяти и т.д. Совокупность этих характеристик дает полное представление о том, насколько система удовлетворяет техническому состоянию. Итак, обобщенный критерий качества представлен в формуле

$$J = \sum_i \alpha_i J_i, \quad (3)$$

где  $\alpha_i$  – весовые коэффициенты.

Можно выделить какой-либо основной показатель, например  $J_2$ , и потребовать, чтобы он в результате оптимизации достигал максимального значения, а другие удовлетворяли системе неравенств:

$$J_1 \leq J_{1mp}; J_3 \leq J_{3mp}; J_4 \leq J_{4mp}; \dots, \quad (4)$$

где величины в правых частях неравенств обусловлены техническим заданием. Если же в системе имеют место случайные процессы, то за общий критерий можно принять вероятность  $P$  удовлетворения всем техническим требованиям:

$$J = P[J_1 \leq J_{1mp}, J_2 \geq J_{2mp}, J_3 \leq J_{3mp}, \dots], \quad (5)$$

а в процессе оптимизации добиться максимума этого критерия.

Из этого следует, что оценка показателя качества производится по одному показателю (оценочному параметру) – цене или эффективности. В данной статье выбираем критерий стоимости. И тогда управляющее устройство вырабатывает такие управляющие воздействия, чтобы обеспечить условие

$$C = \min_{\delta_i \in \{\delta_i\}} C, \quad (6)$$

где  $C$  – стоимость системы;  $\delta_i$  – подмножество внутренних параметров. В дальнейшем для определенности будем подразумевать денежную меру стоимости.

Теперь составим уравнение, связывающее функциональной зависимостью стоимость системы со значениями ее технических параметров. Однако трудность заключается в том, что различные технические параметры измеряются разными мерами. Выход может быть один: привести все технические параметры к некоторой единой мере, соответствующей выбранному смыслу стоимости системы. Для этого достаточно умножить каждый из технических параметров на соответствующий весовой коэффициент. Тогда стоимость системы определится в виде суммы технических параметров:

$$C = \sum_{i=1}^M \alpha_i J_i, \quad (7)$$

где  $\alpha_i$  – весовой коэффициент при  $i$ -м техническом параметре;  $J_i$  –  $i$ -й технический параметр;  $M$  – общее количество учитываемых технических параметров. Так как в статье мы выбрали два параметра ( $\Delta F_i$  и  $W_i$ ), то в данном случае  $M=2$ . Размерность весовых коэффициентов определяется как размерность  $C$ /размерность  $J_i$ . На основании (9) с учетом выбранных технических параметров  $\Delta F_i$  и  $W_i$  получим для стоимости выражение:

$$C = \alpha_F \Delta F_i + \alpha_w W_i, \quad (8)$$

где  $\alpha_F$  и  $\alpha_w$  – весовые коэффициенты при технических параметрах  $\Delta F_i$  и  $W_i$ .

Входной и транзитный потоки размещаются в ЗУ на узле  $i$  для дальнейшей передачи. Тогда общий поток  $\lambda_{i,j}^P(r)$  можно представить в виде следующего выражения

$$\lambda_{i,j}^P(r) = \lambda_{i,j}^{P,mp}(r) + \lambda_{i,j}^{P,ex}(r). \quad (9)$$

Для передачи трафика  $\lambda_{i,j}^P(r)$  из общего объема ЗУ ( $W_i$ ) выделяется емкость  $w_{i,j}^P$ . Текущее значение объема данных, находящихся в ЗУ ( $N_{i,j}^P$ ) можно описать в виде функции  $N_{i,j}^P(r)$ , которая имеет следующий вид

$$N_{i,j}^P(r) = \begin{cases} N_{i,j}^P(r), & \text{при } N_{i,j}^P(r) \leq w_{i,j}^P(r) \\ w_{i,j}^P(r), & \text{при } N_{i,j}^P(r) > w_{i,j}^P(r) \end{cases} \quad (10)$$

Причем для параметра  $w_{i,j}^P(r)$  должны выполняться следующие ограничения

$$w_{i,j}(r) \geq \sum_{p \in P} w_{i,j}^p(r). \quad (11)$$

А для общего объема ЗУ ( $W_i$ ) должны выполняться такие ограничения

$$0 \leq W_i < \infty. \quad (12)$$

В свою очередь, данные, находящиеся в ЗУ  $N_{i,j}^P(r)$  распределяются по выходным каналам для дальнейшей передачи  $e$  выходным каналам, где  $e \in E(i)$ . Поток  $\lambda_{i,j}^P(r)$  после распределения по  $e$  выходным каналам передаются с интенсивностью  $\lambda_{i,j}^{e,P}(r)$ . Для этого в выходных каналах выделяется соответствующая часть пропускной способности

$$\Delta F_i \cdot \phi_{i,j}^{e,P}(r), \text{ для любых } e \in E(i), \quad (13)$$

где  $\Delta F_i$  – пропускная способность канала между смежными двумя узлами  $i$  и  $e$ ;  $\phi_{i,j}^{e,p}(r)$  – маршрутная переменная (часть пропускной способности канала передачи данных  $(i, e)$ , выделенная для  $p$ -го типа данных, передаваемых в тракте передачи  $i, j$ ). Ограничение пропускной способности трактов передачи имеет такие пределы изменения:

$$0 \leq \Delta F_i < \infty. \quad (14)$$

Ввиду ограниченной пропускной способности трактов передачи имеет место ограничение

$$\sum_{\substack{j \in M, p \in P \\ j \neq i}} \phi_{i,j}^{e,p}(r) \leq 1. \quad (15)$$

Для составления функционального уравнения, связывающего стоимость системы со значениями ее внутренних параметров, требуется вычислить выражения (9), (10), (13) и подставить полученные выражения в (8). И тогда синтез оптимальной системы сводится к минимизации стоимости в соответствии с уравнением (6).

Таким образом, применительно к рассматриваемой модели договорных сетей (рис. 1), каждый агент-исполнитель предоставляет свою стоимость, по которой будет выбран один реальный агент-исполнитель, то есть, у кого из агентов числовой показатель стоимости  $C$  будет меньше, с тем и будет осуществляться дальнейшее сотрудничество.

## Выводы

В работе представлен и рассмотрен процесс координации в модели договорных сетей. Также применительно к рассматриваемой модели договорных сетей был проведен анализ взаимодействия МАС ДУ ТКС, в результате которого был составлен алгоритм математического расчета для функциональной зависимости стоимости системы со значениями ее технических параметров. Также в модели есть преимущества и недостатки. На сегодняшний день имеется усовершенствованная модель Смита, которая позволяет реальным агентам-исполнителям выполнять одновременно несколько задач. Для каждого реального агента-исполнителя формируется пакет текущих задач, причем при добавлении к этому пакету новой задачи учитываются не только ее характеристики, но и уже принятые обязательства. Основным преимуществом модели договорных сетей является ее простота и легкость реализации. К недостаткам можно отнести, в первую очередь, отсутствие продуманного механизма выбора реального агента-исполнителя и высокая загрузка коммуникационных каналов. Кроме того, модель договорных сетей не препятствует появлению таких агентов-посредников, которые выступают как спекулянты, то есть в данном случае, имеется в виду покупка и перепродажа одной и той же задачи несколько раз. Также известны различные усовершенствования модели Смита. Например можно ввести специальные промежуточные агенты-консультанты. Их роль состоит в том чтобы оказать помощь агентам-координаторам при оповещении агентов-исполнителей и обработке предложений.

**Список литературы:** 1. *Математичні основи теорії телекомунікаційних систем* / За заг. ред. В. Поповського. Х.: Компанія «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. 272с. 5. *Сервинский Е.Г.* Оптимизации систем передачи дискретной информации. М.: Связь, 1974. 336 с. 6. *Вегишина Шринивас.* Качество обслуживания в сетях IP. М.: Вильямс, 2003. 368 с.

Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 12.09.2009