

Мультиагентное имитационное моделирование системы трудоустройства студентов

Федяев О.И., Медгаус С.В.

Донецкий национальный технический университет
3 fedyayev@donntu.org, medgaus-sergey@yandex.ru

Федяев О.И., Медгаус С.В. Мультиагентное имитационное моделирование системы трудоустройства студентов. Архитектура модели представлена в виде мультиагентной системы. Задача мультиагентного моделирования полностью формализована. Она представлена как задача коллективного выбора с учётом взаимных требований сторон. Эксперимент по анализу трудоустройства проведен в режиме координированного взаимодействия агентов.

Ключевые слова: агенты, мультиагентная система, имитационная модель, сотрудничество агентов, трудоустройство студентов

Введение

Вопросы, касающиеся прогнозирования трудоустройства студентов, являются очень актуальными в наше время. Данная работа посвящена созданию программной системы, которая позволит, исходя из полученных знаний студентов, прогнозировать успешность их трудоустройства с учётом профессиональных требований фирмы. Эта система также позволит выявлять возможные пробелы в подготовке студентов на выпускающей кафедре и оценивать качество подготовки.

Оценка эффективности процессов подготовки специалистов и их трудоустройство очень важна для анализа и управления сложной и инерционной системой образования, в рамках которой решаются задачи составления правильных государственных стандартов, организации эффективного учебного процесса, распределения выпускников на предприятия в соответствии с полученной квалификацией и требованиями заказчиков [1]. Перечисленные задачи являются трудно формализуемыми и поэтому не могут быть решены традиционными математическими методами [2]. Кроме того, участники рассматриваемых процессов взаимосвязаны и образуют распределённую, неоднородную и интеллектуальную систему.

Чтобы учесть особенности анализируемых процессов и построить адекватную модель, в данной работе имитационная система строится методами агентно-ориентированного моделирования, которые сейчас успешно применяются для описания поведения неоднородных систем с распределённым интеллектом [3].

Структура системы моделирования подготовки и трудоустройства студентов

Общая структура системы подготовки специалистов, частью которой является подсистема трудоустройства выпускников, представлена на рисунке 1.

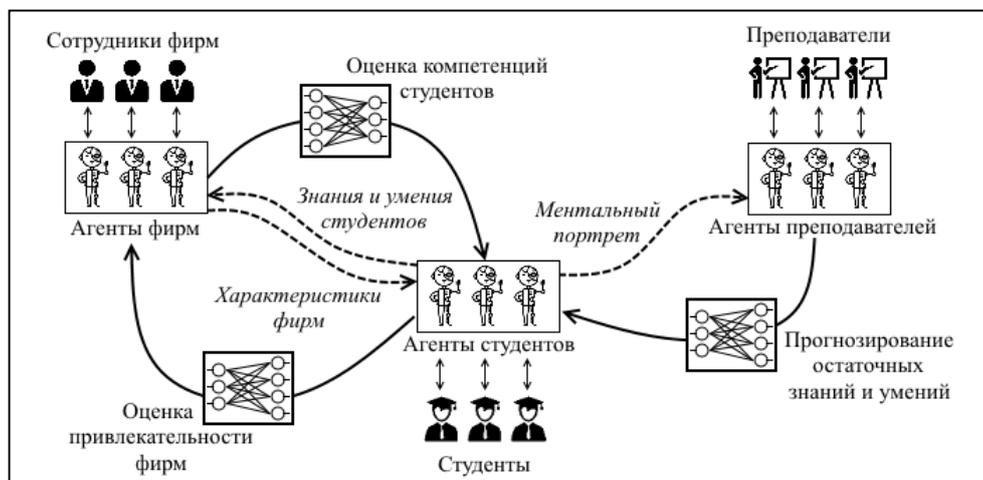


Рисунок 1 - Многоагентная система имитационного моделирования процесса подготовки и распределения студентов на фирмы

Из рисунка видно, что существуют основные три группы людей, между которыми происходит взаимодействие. Каждая из групп передаёт свои цели и способы их достижения своим программным агентам, которые в свою очередь моделируют поведение реальных людей.

Самой большой группой агентов являются агенты студентов. Каждый студент обладает некоторым ментальным портретом (темперамент, уровень IQ, тип личности и т.д.), уровнем знаний и умений по каждой учебной дисциплине, предусмотренной в учебном плане. Для того, чтобы агенты преподавателей смогли спрогнозировать уровень остаточных знаний и умений, студент должен предоставить им свой ментальный портрет. Далее, после того, как остаточные знания определились, агенты-студенты начинают поиск привлекательных фирм, для этого они «обходят» все фирмы и узнают у них условия работы (зарплата, количество рабочих часов, и другие важные социальные факторы), после этого студент формирует для каждой фирмы оценку привлекательности, на основе которой он предлагает свою кандидатуру фирмам. В свою очередь фирмы, при выявлении желания студента работать у них, запрашивают уровни остаточных знаний и умений. После этого, каждая фирма оценивает их, пробуя применить для решения задач каждой конкретной фирмы, и успешно прошедшим этап отбора задачами фирмы предлагают трудоустроиться.

Формальная постановка задачи моделирования процессов трудоустройства

Модель динамического процесса трудоустройства студентов на фирмы (предприятия) представлена двумя группами взаимодействующих искусственных агентов:

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ - множество агентов, представляющих студентов, которые хотят трудоустроиться по специальности (N - количество студентов);

$F = \{f_1, f_2, \dots, f_M\}$ - множество агентов, представляющих фирмы разного профиля, которые предлагают вакантные места для работы (M – количество фирм).

Процесс трудоустройства начинается с того, что каждый студент по своим критериям оценивает для себя привлекательность каждой фирмы

$$t_{n,m} = \varphi_n(c_m) ,$$

где $t_{n,m}$ – оценка привлекательности m -ой фирмы для n -го студента; φ_n - многомерная функция субъективной оценки студентом x_n привлекательности фирмы f_m ; c_m – вектор значений социально-экономических характеристик, т.е. социальный пакет, который предлагается студенту на фирме f_m . Компоненты вектора c_m определяют размер зарплаты, продолжительность рабочего дня, форму собственности, обеспеченность жильём, возможность удалённой работы и другие показатели, значения которых характеризуют условия работы на m -ой фирме.

В свою очередь каждая фирма оценивает уровень знаний и умений претендентов, предлагая им тестовые задания по профилю деятельности фирмы

$$g_{n,m} = \sum_{j=1}^{J_m} \mu_{m,j}(z_n) ,$$

где z_n – вектор значений уровней знаний и умений, которыми обладает студент x_n (в частном случае – по одной дисциплине); $\mu_{m,j}$ - многомерная функция субъективного оценивания m -ой фирмой способность студента x_n решать j -ое задание, предлагаемое фирмой; $g_{n,m}$ - оценка профессиональных компетенций n -го студента, выставленная m -ой фирмой; J_m - количество тестовых заданий у m -ой фирмы ($1 \leq j \leq J_m$).

Поставленная в статье цель, ориентированная на оптимальное распределение студентов на фирмы, может быть достигнута путём решения следующих двух задач [4].

Задача 1. Она относится к классу обратных задач и заключается в нахождении функций $\varphi_n(\cdot)$ и $\mu_{m,j}(\cdot)$. Функция $\varphi_n(\cdot)$ отражает мнение конкретного студента или группы студентов и описывает зависимость привлекательности фирмы от предлагаемого фирмой социального пакета. Вторая функция $\mu_{m,j}(\cdot)$ имитирует поведение работников фирмы, занимающихся подбором кадров, при тестировании уровня компетенции студентов в зависимости от их знаний и умений по профилю деятельности фирмы. Поскольку обе функции связывают качественные данные, то для их конструирования применена нейросетевая методология как универсальное средство функциональной аппроксимации. Для обучения нейросетевых моделей функций использовались данные реально проводимых опросов нескольких десятков респондентов. Решение этой задачи не рассматривается в данной статье.

Задача 2. Эта задача относится к проблеме коллективного выбора с учётом взаимных требований сторон, которая типична для задач многокритериального принятия решений. В содержательной форме эта задача состоит в распределении студентов на фирмы так, чтобы отклонения от планов приёма отобранных лучших студентов были минимальными, а желания студентов были максимально учтены.

Рассмотрим математическую постановку данной задачи. Каждый студент x_n с учётом своих желаний создаёт для себя список фирм $Q_n = (q_{n,1}, q_{n,2}, \dots, q_{n,M}), q_{n,m} \in F$, который показывает очередность посещения им фирм при поиске работы, т.е. в каком порядке студент x_n будет обходить фирмы. Для этого списки Q_n , входящие во множество $Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_N\}$, упорядочены по убыванию оценок привлекательности фирм, полученных с помощью функции $\varphi_n(\cdot)$:

$$t_{n,k}(q_{n,i}) \geq t_{n,l}(q_{n,i+1}) \text{ если } q_{n,i} = f_k, q_{n,i+1} = f_l.$$

Поскольку один студент не может одновременно посетить все фирмы, то трудоустройство всех студентов происходит за несколько временных циклов посещения ими выбранных фирм. На каждом цикле для каждой фирмы f_m формируется очередной поток (множество) $R_m = \{r_{m,i} | r_{m,i} \in X, 1 \leq i \leq I\}$ из студентов x_n , которые хотели бы устроиться на данную фирму, где I – размер группы претендентов в данном потоке; $\bigcap_{m=1}^M R_m = \emptyset$; \emptyset – пустое множество.

Перед каждым новым циклом посещения все потоки во множестве $R = \{R_1, R_2, \dots, R_M\}$ обновляются. Например, в очередной k -й поток соискателей на фирму R_m попадают те студенты x_n , у которых первыми в очереди Q_n стоит фирма f_m , т.е. $q_{n,1} = f_m (1 \leq n \leq N)$. Целое число k также можно трактовать как порядковый номер цикла посещения студентами фирм.

Перед каждым новым циклом посещения все потоки во множестве $R = \{R_1, R_2, \dots, R_M\}$ обновляются. Например, в очередной k -й поток соискателей на фирму R_m попадают те студенты x_n , у которых первыми в очереди Q_n стоит фирма f_m , т.е. $q_{n,1} = f_m (1 \leq n \leq N)$. Целое число k также можно трактовать как порядковый номер цикла посещения студентами фирм.

Пусть планы приёма студентов на фирмы задаются множеством $L = \{l_1, l_2, \dots, l_M\}$, где l_m – количество вакансий на m -ой фирме ($0 \leq l_m \leq N$). Введём множество последовательностей $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_M\}$, в котором каждая Y_m определяет список кандидатов, отобранных в ходе тестирования студентов на фирме f_m . Каждая последовательность Y_m представляет собой множество студентов, упорядоченное по убыванию полученной ими оценки по тестированию. В каждой последовательности (упорядоченном множестве) $Y_m = \{y_{m,1}, y_{m,2}, \dots, y_{m,N}\}$ элементы $y_{m,n}$ состоят из студентов, входящих во множество X , т.е. $y_{m,n} \in X$. Из этого следует, что $g_{k,m}(y_{m,i}) \geq g_{l,m}(y_{m,i+1})$, если $y_{m,i} = x_k, y_{m,i+1} = x_l, 1 \leq i \leq N - 1$. В целом Y – это мультимножество, т.е. каждый студент x_n может успешно пройти тестирование на нескольких фирмах и таким образом принадлежать нескольким последовательностям Y_n .

Кроме того, студенты и фирмы могут устанавливать для себя пороговые значения соответственно по уровню привлекательности фирмы и уровню компетентности студента в виде множеств $P = \{p_1, p_2, \dots, p_N\}$ и $D = \{d_1, d_2, \dots, d_M\}$, где p_n – минимально-допустимое значение привлекательности фирмы у n -го студента; d_m – минимально допустимый уровень компетентности для соискателей на m -ой фирме.

На каждом k -м цикле отбора студентов каждая фирма f_m принимает на входе соответствующий поток студентов $R_m = \{r_{m,i} | r_{m,i} \in X\}$, которые желают работать на фирме. Фирмы в своих списках кандидатов Y_m всем элементам $y_{m,n} \in X$ из пересечения множеств $R_m \cap Y_m$ приписывают приоритет, равный номеру цикла k . Условимся считать, что чем меньше значение k , тем выше приоритет студента x_n в последовательности Y_m . Обозначим через $p(y_{m,n})$ значение приоритета студента x_n , находящегося на месте $y_{m,n}$ в последовательности Y_m . В ходе циклического процесса все студенты-кандидаты в мультимножестве Y получают свои значения приоритетов.

Таким образом, задача квазиоптимального распределения студентов на фирмы сводится к такой расстановке элементов $y_{m,n} \in X$ в последовательностях Y_1, Y_2, \dots, Y_M , где

$$Y_m = \{x_n | (x_n \in X) \& (g_{n,m}(x_n) \geq d_m) \& (t_{n,m}(f_m) \geq p_n)\},$$

при которой минимизируются, во-первых, невыполнение заявок фирм на молодых специалистов с учётом сохранения ранжирования отобранных кандидатов по уровню их квалификации $g_{n,m}(\cdot)$ и, во-вторых, сумма всех значений приоритетов $p(y_{m,n})$ во множестве Y (оно должно быть уже не мультимножеством), гарантирующая рациональную расстановку студентов на основе введенных приоритетов $p(y_{m,n})$, выражающих желания студентов посредством функции $t_{n,m}(\cdot)$.

Анализ процессов трудоустройства с помощью имитационной модели

В виде программы многоагентная система моделирования была реализована с помощью инструментальной среды Jason, которая ориентирована на создание интеллектуальных программных агентов с открытой BDI-архитектурой, позволяющей описывать на языке Java поведение агентов с учётом специфики решаемой задачи [5]. На рисунке 2 представлен интерфейс программного обеспечения системы, реализующей взаимодействие с системой посредством удобных окон. Окна позволяют настраивать агентов-студентов и агентов-фирм, задавая их характеристики, а также редактировать список доступных компетенций и выбирать различные режимы моделирования процесса трудоустройства.

Окно диалога для задания социально-экономических характеристик фирмы представлено на рисунке 3.

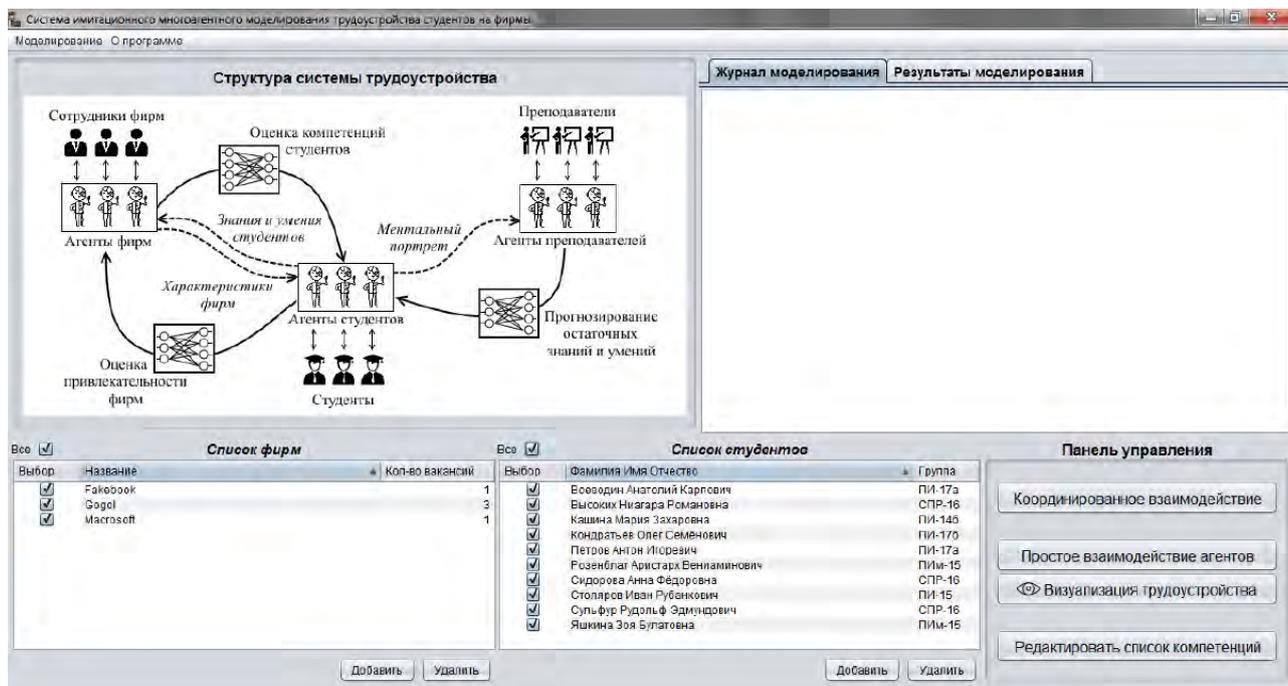


Рисунок 2 - Пользовательский интерфейс системы имитационного моделирования

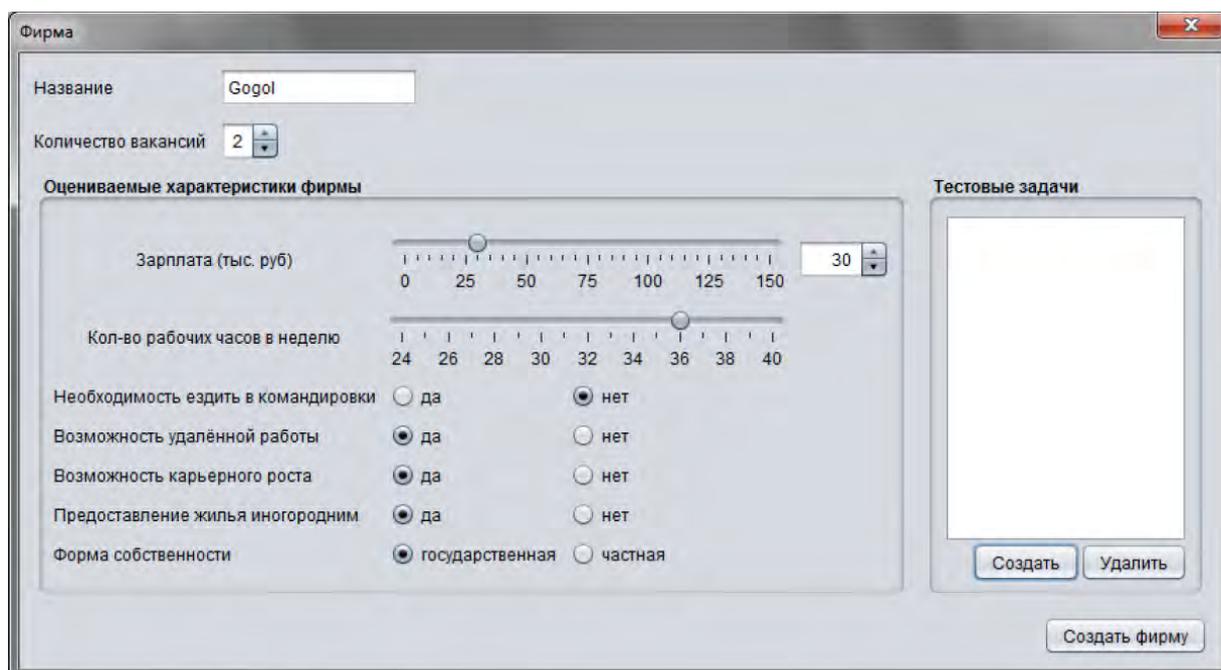


Рисунок 3 – Диалоговое окно для задания условий работы на фирме

Первым этапом моделирования процесса трудоустройства является «собеседование», которое происходит между агентами студентов и работниками фирм. На рисунке 4 представлена диаграмма последовательности на языке UML, показывающая динамику взаимодействия агентов при наличии Координатора (арбитра), роль которого может выполнять, например, ответственный за распределение студентов на кафедре или заведующий кафедрой.

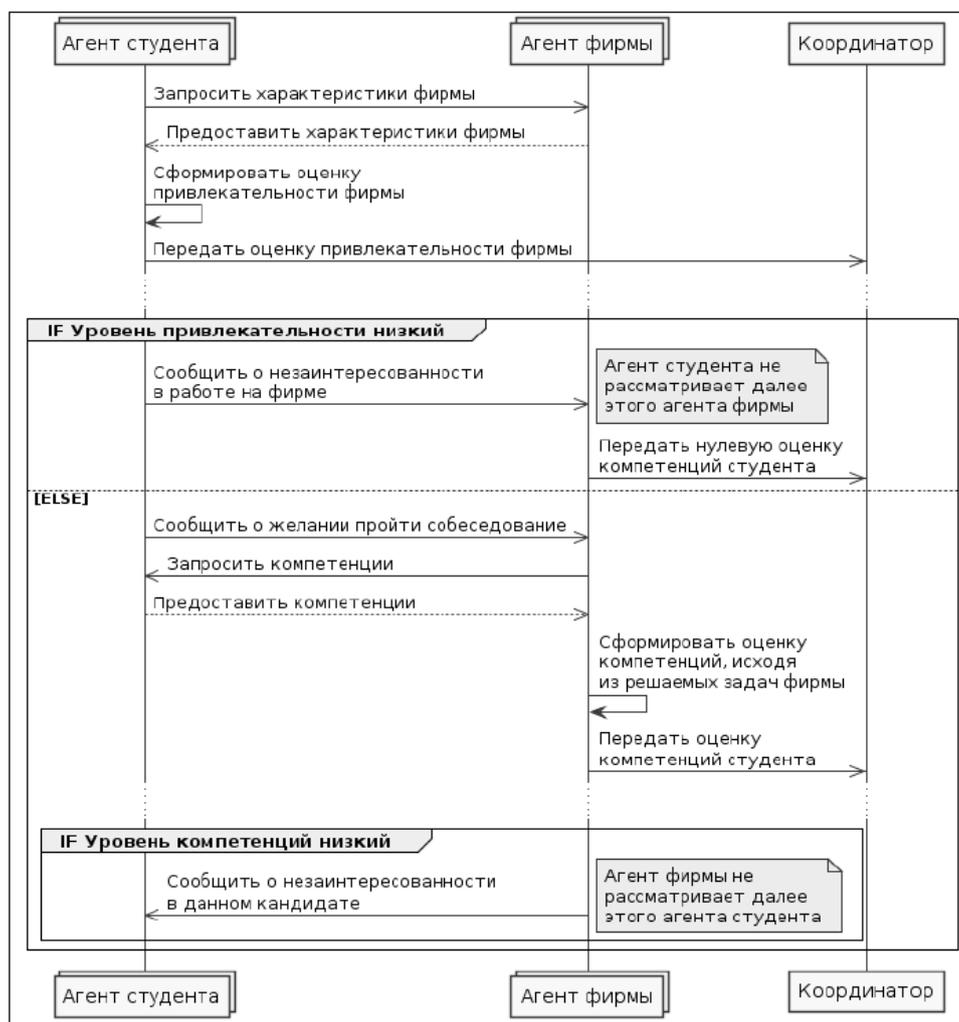


Рисунок 4 – Диаграмма последовательности взаимодействия агентов-студентов, агентов-фирм и Координатора

При координированном взаимодействии агентов для получения плана распределения агент Координатор, получив на этапе знакомства списки предпочтения агентов, может сразу применять оптимизационный метод и выдать оптимальное решение по трудоустройству. При таком виде трудоустройства агенты взаимодействуют только на этапе знакомства.

Функция вычисления оценки привлекательности фирмы, которая используется в самом начале взаимодействия агентов, реализована в нейросетевом базисе, так как она является трудно формализуемой. Поэтому для её построения использовалась модель нейронной сети - многослойный персептрон, а проверка адекватности модели нейросети выполнялась на реальных данных (см. рис. 3), полученных от нескольких десятков студентов-респондентов. После настройки нейросетевой функции по стратегии «обучение с учителем» были проведены эксперименты для получения субъективной оценки привлекательности фирмы со стороны конкретного студента (см. рис.5).

Следующая важная задача связана с получением оценки уровня владения компетенциями (знаниями и умениями) в виде коэффициентов уверенности из диапазона [0,1], которые отражают наличие остаточных знаний по той или иной дисциплине. В свою очередь работодатель формирует список тестовых задач, которые являются профильными для его предприятия, попутно выбирая те знания и умения, которые, по его мнению, действительно важны в решении соответствующей задачи и ставит каждой компетенции свой коэффициент важности по фиксированной четырёхбалльной шкале (1 – высокий, 0.8 – выше среднего, 0.5 – средний, 0.3 – малый). Для удобства коэффициенты важности (P_i) целесообразно нормализовать в диапазон от 0 до 1, так

чтобы $\sum P_i = 1$. Поскольку все входные сигналы изменяются в одном диапазоне от 0 до 1 и оценки важности, установленные экспертом, также нормализованы, то оценку успешности решения одной задачи можно реализовать одним нейроном с линейной функцией активации без обучения (весовыми коэффициентами выступают нормализованные коэффициенты важности P_i). Также необходимо отметить, что итоговым результатом оценки уровня компетенций студента является обобщающий результат оценок по всем задачам фирмы, поэтому итоговая оценка высчитывается по формуле

$$\text{Итоговая оценка} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{N+M} x_i * P_i,$$

где k - количество тестовых задач; N, M - количество соответственно знаний и умений по дисциплине; x_i - степень владения компетенцией студентом; P_i - нормализованный коэффициент важности.

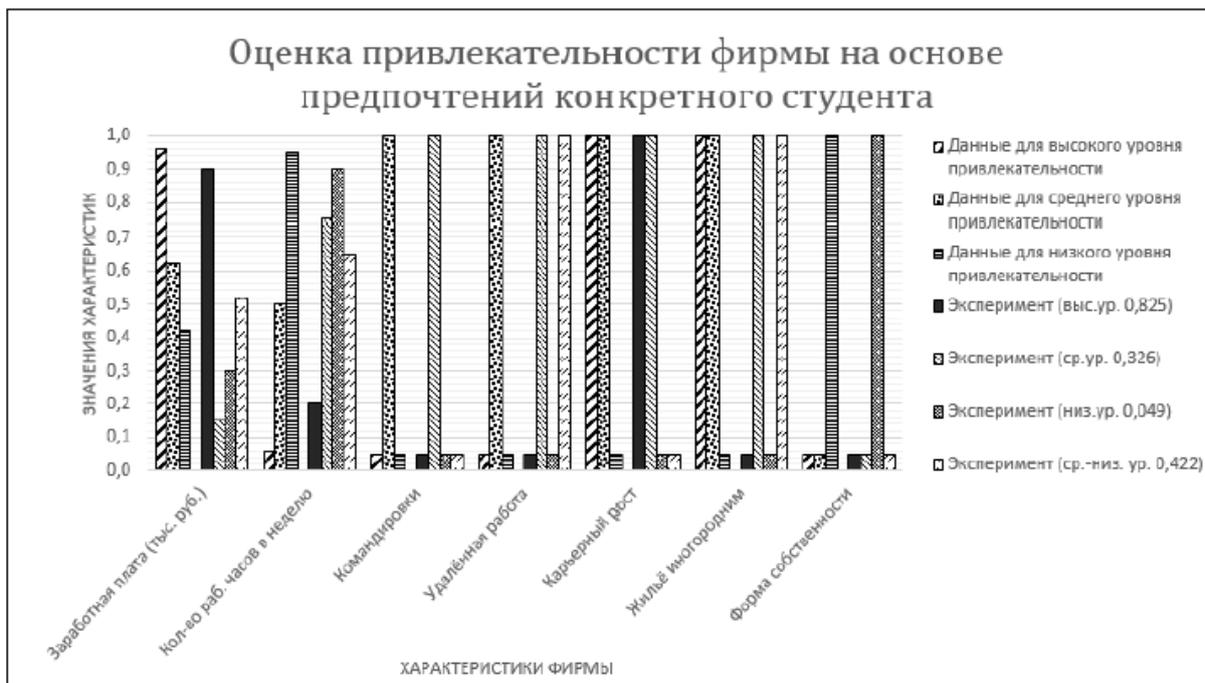


Рисунок 5 – Эксперименты с нейросетью, обученной на основе предпочтений конкретного студента

Ниже приведены результаты моделирования процесса трудоустройства, в котором участвовали 3 фирмы (у всех по 4 вакантных места) и 10 студентов (у всех принята минимальная привлекательность и минимальный уровень знаний, равные 0). При запуске процесса моделирования все агенты студентов проходят «собеседование» с агентами фирм в соответствии с алгоритмом на рисунке 4 и по ранее рассмотренным методикам агенты с нейросетевой архитектурой формируют значения привлекательности и компетенции, которые передаются агенту Координатору (см. табл. 1).

Таблица 1 – Предпочтения агентов

Студенты	f_1 – кол-во вакансий - 4		f_2 – кол-во вакансий - 4		f_3 – кол-во вакансий - 4	
	Привлекательность	Компетенция	Привлекательность	Компетенция	Привлекательность	Компетенция
x_1	0,44	0,89	0,38	0,76	0,5	0,25
x_2	0,62	0,25	0,41	0,23	0,23	0,84
x_3	0,63	0,79	0,5	0,73	0,43	0,37
x_4	0,46	0,72	0,57	0,44	0,35	0
x_5	0,79	0,04	0,77	0,85	0,76	0,86
x_6	0,4	0,27	0,74	0,76	0,3	0,26
x_7	0,51	0,24	0,08	0,91	0,43	0,84
x_8	0,06	0,48	0,51	0,1	0,92	0,77
x_9	0,82	0,22	0,99	0,42	0,5	0,24
x_{10}	0,01	0,04	0,31	1	0,47	0,8

На рисунке 6 представлен журнал моделирования, в котором записываются все действия, совершённые агентами в ходе моделирования (строки без сдвига – действия агентов-фирм, строки со сдвигом – действия агентов-студентов).

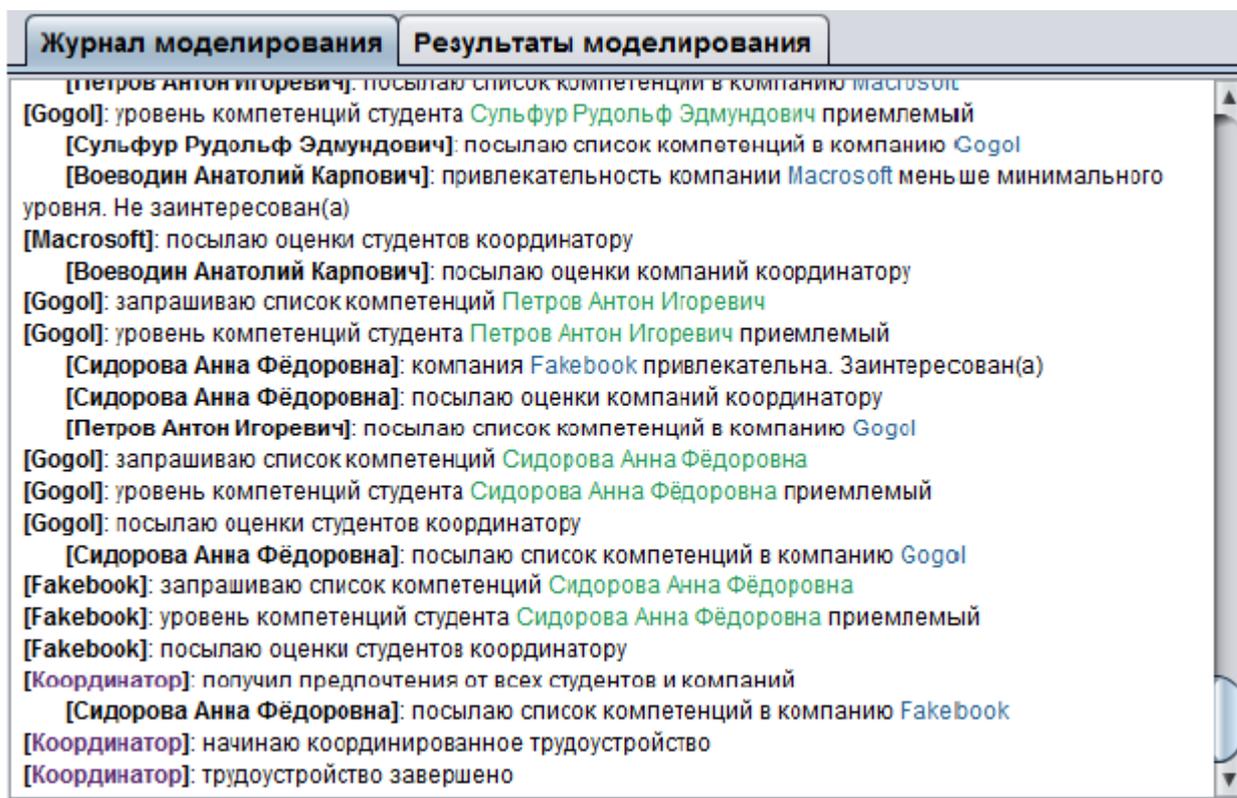


Рисунок 6 – Журнал моделирования

На рисунке 7 представлены результаты моделирования трудоустройства с помощью координированного взаимодействия, используя венгерский метод оптимизации [6].

Студенты	Fakebook (4)	Gogol (4)	Microsoft (4)
Воеводин Анатолий Карпович	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Высоких Ниагара Романовна	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Кашина Мария Захаровна	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Кондратьев Олег Семёнович	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Петров Антон Игоревич	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Розенблат Аристарх Вениаминович	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Сидорова Анна Фёдоровна	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Столяров Иван Рубанкович	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Сульфур Рудольф Эдмундович	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Яшкина Зоя Булатовна	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Рисунок 7 – Результаты трудоустройства с помощью координированного взаимодействия

В итоге все студенты нашли себе рабочие места. Однако, необходимо отметить, что не было элемента соревнования, то есть везде были места и студенты беспрепятственно занимали их.

Заключение

Имитационная модель представлена в виде многоагентной системы, учитывающей распределённость, неоднородность и интеллектуальность объекта исследования. Кроме того, в статье рассмотрена постановка

задачи моделирования процесса трудоустройства студентов. Динамика процесса распределения студентов на фирмы реализована совокупностью взаимодействующих программных агентов. Для каждого типа агентов формализованы его роли и протоколы взаимодействия с другими агентами. Предложен подход к реализации сотрудничества агентов при поиске компромиссного решения, в основе которого лежит принцип гомеостатического (равновесного) управления динамикой многоагентной системы. С помощью разработанной имитационной модели проведен эксперимент, посвященный анализу процесса трудоустройства студентов в режиме координированного взаимодействия агентов.

Литература

1. Тельнов Ю.Ф., Данилов А.В., Казаков В.А. Применение многоагентной технологии для решения образовательных задач в информационно-образовательном пространстве // Инжиниринг предприятий и управление знаниями. Сб. науч. тр. 18-й научно-практической конференции (ИПиУЗ-2015, 21-24 апреля 2015 г., Москва, МЭСИ). – М.: МЭСИ, 2015.
2. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Интеллектуальные информационные системы: Учебник. – М.: Финансы и статистика, 2006.
3. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.
4. Федяев О.И. Модель системы подготовки и трудоустройства специалистов на основе программных агентов с нейросетевой архитектурой // Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016, Труды конференции. В 3-х томах. Т.2. – Смоленск: Универсум, 2016.
5. Programming multi-agent systems in AgentSpeak using Jason – <http://jason.sourceforge.net/wp/>
6. Железова Е., Измалков С., Сонин К., Хованская И. Теория и практика двусторонних рынков // Вопросы экономики, № 1, 2013.

Федяев О.И., Медгаус С.В. Мультиагентное имитационное моделирование системы трудоустройства студентов. Архитектура модели представлена в виде мультиагентной системы. Задача мультиагентного моделирования полностью формализована. Она представлена как задача коллективного выбора с учётом взаимных требований сторон. Эксперимент по анализу трудоустройства проведен в режиме координированного взаимодействия агентов.

Ключевые слова: агенты, мультиагентная система, имитационная модель, сотрудничество агентов, трудоустройство студентов

Fedyayev O.I., Medgaus S.V. Multi-agent simulation modeling of the student employment system. The architecture of the model is presented in the form of a multi-agent system. The task of multi-agent modeling is fully formalized. It is presented as a task of collective choice, taking into account the mutual demands of the parties. The employment analysis experiment was conducted in the mode of coordinated interaction of agents.

Key words: agents, multi-agent system, simulation model, cooperation of agents, employment of students