

УДК 371.3:658.012

МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТА И СРЕДЫ КАК ИНСТРУМЕНТ МОНИТОРИНГА СЛОЖНОГО ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА**И. В. Шевченко, И. С. Шаповал, Т. Д. Стаценко**Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: innessa-s@rambler.ru

Предложена модель взаимодействия интеллектуального агента и среды как инструмента мониторинга сложного технико-экономического процесса. Рассмотрены различные стратегии поведения агента. Модель взаимодействия включает М-сеть, монитор процесса взаимодействия интеллектуального агента и среды и базу знаний. М-сеть содержит узлы двух видов – рецепторы признаков ситуаций и информационные модели образов эталонных ситуаций. Наличие эволюционных процедур настройки весовых коэффициентов М-сети позволяет агенту устанавливать факты существования заранее неизвестной информации в заданном пространстве образов и пополнять базу знаний новыми классами ситуаций.

Ключевые слова: интеллектуальный агент, среда, взаимодействие, М-сеть, база знаний.**МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ ІНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТА І СЕРЕДОВИЩА ЯК ІНСТРУМЕНТ МОНИТОРИНГУ СКЛАДНОГО ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО ПРОЦЕСУ****І. В. Шевченко, І. С. Шаповал, Т. Д. Стаценко**Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: innessa-s@rambler.ru

Запропоновано модель взаємодії інтелектуального агента і середовища як інструменту моніторингу складного технико-економічного процесу. Розглянуто різні стратегії поведінки агента. Модель взаємодії включає М-мережа, монітор процесу взаємодії інтелектуального агента і середовища та базу знань. М-мережа містить вузли двох видів – рецептори ознак ситуацій та інформаційні моделі образів еталонних ситуацій. Наявність еволюційних процедур настройки вагових коефіцієнтів М-мережі дозволяє агенту встановлювати факти існування заздалегідь невідомої інформації в заданому просторі образів і поповнювати базу знань новими класами ситуацій.

Ключові слова: інтелектуальний агент, середа, взаємодія, М-мережа, база знань.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Современный этап создания специализированных систем поддержки принятия решений (СППР) для мониторинга параметров сложных технико-экономических процессов (СТЭП) основан на методах, использующих принципы вычислительного интеллекта [1, 2]. Интеллектуальные СППР характеризуются способностью к накоплению опыта и адаптации к изменениям в особенностях решаемой задачи. Они не только позволяют менее квалифицированному персоналу проводить диагностирование с приемлемой надежностью, но и помогают опытным специалистам детально анализировать ситуацию и повышать эффективность принимаемых решений. К таким СППР предъявляются следующие требования:

- использование временных зависимостей в базе знаний и учет временного фактора при поиске решения;
- поиск компромисса между точностью получаемого решения и затратами вычислительных ресурсов на его получение;
- получение достоверного результата при возможной неполноте исходных данных;
- выбор наиболее существенных событий, имеющих место в динамике технологического процесса;
- рациональная расстановка приоритетов решаемых задач;
- предупреждение возникновения нештатных ситуаций (НС) и корректный выход из критической ситуации.

Для успешного решения задачи разработки интеллектуальной системы мониторинга СТЭП следует

представить взаимодействие СППР с СТЭП как взаимодействие интеллектуального агента, обладающего целесообразным поведением и среды, которая может обладать неопределёнными свойствами.

Всякое целесообразное поведение опирается на анализ свойств окружающей среды. Результаты анализа используются как для формирования цели поведения, так и для выбора действий, ведущих к цели. Обычно качество поведения оценивается по уровню целесообразности при заданных внешних условиях или по отклонению достигаемого уровня эффективности от оптимального. Важную роль при анализе внешней среды играет статистика – агент может накапливать статистические данные о состоянии среды и использовать их для формирования своего поведения.

Однако, при исследовании целесообразного поведения и в ходе реализации некоторого поведения, как правило, не уделяется внимания тому обстоятельству, что результаты статистического анализа могут быть подвержены неконтролируемому искажению со стороны среды. Это приводит к необходимости решения ряда задач, таких, как обоснование выбора типа поведения агента, формирование модели поведения и, при необходимости, алгоритмов коррекции баз знаний.

Целью настоящей работы является разработка модели взаимодействия интеллектуального агента и среды как инструмента мониторинга сложного технико-экономического процесса.

Анализ проблемы и постановка задачи. Поведением будем называть действия агента как его реакцию на ситуацию во внешней среде с учетом внут-

ренного состояния агента. При этом, по аналогии с биологическими организмами, можно выделить несколько типов (уровней) поведения [3, 4]:

- «механическое» поведение;
- стереотипное поведение;
- стереотипное поведение, формируемое в процессе обучения;
- «логическое» поведение;
- поведение, направляемое опытом.

Механическое" поведение – реакции агента на воздействия среды, реализуемые исключительно за счет текущих физических воздействий. Аналогом такого типа поведения является поведение инфузории туфельки при ее движении к пище или от источника раздражения, в частности, от источника слишком яркого света.

Стереотипное поведение осуществляется на основе средств, встроенных в систему управления поведением. Закон регулирования фиксирован и задан при проектировании. В биосистемах такое поведение реализуется на уровне безусловных рефлексов.

Стереотипное поведение, формируемое в процессе обучения, по характеру реагирования сходно с предыдущим. Имеется множество программ (реакций), в которых текущему значению пары «ситуация–цель» ставится в соответствие некоторое подмножество действий. Однако здесь агента необходимо предварительно научить новым действиям. В живой природе этому соответствует модификация врожденного поведения.

«Логическое» поведение – это уровень осмысленных действий, когда поведение агента направляется по правилам и инструкциям, заложенным в базы знаний, однако доступный набор действий должен готовиться заранее. В данном случае при определении реакции на текущую ситуацию используется некоторая последовательность логических выводов. В живых системах данному типу поведения соответствует рассудочная деятельность.

Поведение, направляемое опытом, напоминает предыдущий уровень. Здесь также важную роль играет обучение. Существенно, что как реакции, так и правила для них формируются динамически, то есть в процессе взаимодействия со средой [5]. Это может осуществляться наряду с предварительным обучением. Работая, система накапливает опыт поведения применительно к различным ситуациям и целям.

Очевидно, что интеллектуальный агент должен реализовывать поведение, направляемое опытом.

Принятие решений во «враждебной» среде. Термин «враждебная среда» подразумевает, что поведение того, кто формирует «враждебные» действия, может меняться в любой момент времени [6]. Мы имеем в виду неизвестное и не контролируемое искажающее обстановку воздействие, когда поведение, построенное без учета возможных изменений в среде, подвергается опасности потерять все признаки целесообразности. Отсюда вытекают две методические задачи: во-первых, выработать критерий целесообразного поведения, который отражал бы устойчивость к подобного рода неконтролируемым

«враждебным» действиям, и, во-вторых, определить саму ситуацию и выявить ее отличия от других ситуаций.

Ситуация конфликта (столкновения интересов) обычно считается объектом рассмотрения теории игр [7]. В классической постановке в задаче игрового взаимодействия противникам известны все возможные исходы игры, т.е. матрица игры. Ситуации, когда противники не знают платежной матрицы, обозначаются как игры с неполной информацией. В случае принятия решений во «враждебной» среде описание ситуации дополняется также описанием обоих партнеров: противник может делать то, о чем даже не подозревает принимающий решение субъект, который своим анализом ситуации не полностью охватывает возможности, которыми располагает противник. Такие ситуации рассматривались в некоторых работах [6], однако они не содержат конкретных алгоритмов принятия решения во «враждебной» среде.

Отличительной чертой рассматриваемой нами ситуации является известное неравноправие партнеров: один из них – противник – располагает возможностями, неизвестными его партнеру, которого мы будем называть субъектом поведения.

Простейший случай среди рассматриваемых ситуаций характеризуется тем, что взаимодействие партнеров определяется квадратной матрицей, известной противнику, тогда как субъект строит свое поведение на основании анализа полученной в ходе игры информации. Такое поведение, когда субъект строит свои действия так, как будто он находится в некоторой природной среде, но между тем испытывает определенное воздействие со стороны противника, мы назвали поведением во враждебной среде.

Другими словами, враждебными действиями будем называть построение специально организованной последовательности действий, которым субъект (агент) должен противопоставить свое поведение.

Исследование поведения агента во враждебной среде может решать две взаимно дополняющие одна другую задачи.

1. Построение поведения, устойчивого к враждебным действиям (решается с позиций агента).

2. Диагностическая задача: по форме поведения в среде выяснить алгоритм поведения и скорректировать базу знаний агента.

Учитывая специфику задачи мониторинга СТЭП, мы сосредоточимся на формировании математической модели и создании базового алгоритма, позволяющих в принципе решать обе указанные задачи.

Подобные игры с неполной информацией трудно анализировать при помощи аналитических математических моделей. Поэтому чаще всего исследования поведения проводят на имитационных компьютерных моделях. Такая компьютерная модель должна реализовать поочередные ходы игроков, выбор ходов на основании некоторых математических вычислений, обработку результатов ходов, накопление результатов.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТ ИССЛЕДОВАНИЙ.

В результате проведения исследований нами была построена концептуальная модель, описание которой приводится ниже. Мы ограничимся рассмотрением случая, когда все возможные ситуации среды воспринимаются агентом, как относящиеся к одному из нескольких классов. Внутри каждого из этих классов образы ситуаций являются для агента неразличимыми. Среда генерирует поток ситуаций. Агент должен распознать ситуацию и определить программную реакцию на неё. Модель агента определяется выражением:

$$A = \{X, S, D, T\}, \quad (1)$$

где $X = \{x_i\}$ – множество входных сигналов, отображающих признаки ситуаций; $S = \{s\}$ – множество состояний агента, под которыми подразумевается алфавит распознанных ситуаций; $D = \{d_j\}$ – множество реакций агента; $T = \{t\}$ – множество дискретных моментов времени t .

В каждый момент времени t задана триада $\langle X^*(t), s(t), d(t) \rangle$, где $X^*(t)$ – вектор значений признаков ситуации. Задано также распределение $V(t, x)$, которое осуществляет случайное отображение произведения множеств $S \times X$ на произведение $S \times D$, т.е. задан некоторый вероятностный закон, по которому в следующий момент времени пара $\langle s(t), d(t) \rangle$ переводится в пару $\langle s(t+1), d(t+1) \rangle$.

Множество состояний S есть непрерывная величина, которая определяется как функция $S = F(V(t, x(t)), x(t))$ – то есть состояние агента зависит от того, какой вид имеет распределение $V(t, x(t))$ и какие значения несет вектор $X^*(t)$ в данный момент времени t .

Модель среды определяется выражением:

$$E = \{X, U, T\}, \quad (2)$$

где $X = \{x_i\}$ – множество сигналов, отображающих признаки ситуаций; U – множество правил преобразования ситуаций в зависимости от реакций агента; $T = \{t\}$ – множество дискретных моментов времени t .

Наиболее подходящим, на наш взгляд, для построения модели взаимодействия со средой, является М-автомат Н.М. Амосова [8]. М-автомат – это модельный автомат, представляющий собой семантическую сеть, узлами которой являются так называемые информационные модели (i-модели). Структуру М-автомата, таким образом, задают узлы и связи между ними. М-сеть является статической моделью, отражающей совокупность объектов (i-моделей) и их связей [8].

Функционирование М-сети определяется выбранными законами изменения компонент векторов связей и порогов возбуждения i-моделей. Изменение этих законов будет приводить к изменениям в системе в целом. Совокупность сигналов о ситуации, сложившейся во внешней среде в данный момент времени поступает на блок восприятия, где происходит выделение полезных сигналов и формирование образов, соответствующих объектам, явлениям и фактам, для которых в М-автомате имеются соответствующие i-модели. Эти i-модели получают воз-

буждения, т.е. их возбужденность увеличивается.

Затем, с учетом внутренних связей М-автомата, происходит распространение возбуждения по М-сети. При этом меняется состояние сети, и, если модель адекватна оригиналу, то наблюдатель может фиксировать динамику изменения возбуждения отдельных ячеек сети, анализировать и распознавать состояние, прогнозировать дальнейший ход процесса. Как раздражители могут выступать и внутренние состояния автомата. Даже тогда, когда во внешнем мире ситуация не меняется, может произойти изменение внутренних состояний.

Определим характеристики возбуждения и торможения для i-моделей. Для описания чувствительности i-модели удобно использовать так называемую сигмоидальную функцию

$$G = \frac{1}{1 + e^{-C}}, \quad (3)$$

где C – сумма входных сигналов модели; G – величина увеличения возбуждения. Эта функция хорошо описывает желательное изменение степени возбуждения i-модели при изменении значения суммы входных сигналов. Для малых сигналов функция дает большую чувствительность, чем для больших.

Характеристика торможения (затухания) определяет изменение возбуждения i-модели во времени при отсутствии внешних сигналов. Будем считать, что в каждый момент дискретного времени t возбужденность i-модели снижается на постоянную величину D , значение которой уточняет экспериментатор. Примем для всех i-моделей сети характеристики затухания в виде:

$$R^{t+1} = R^t - D, \quad (4)$$

где R^t – возбужденность i-модели в момент времени t , R^{t+1} – возбужденность i-модели в момент времени $t+1$.

Общая зависимость (формула перерасчета) возбужденности ячеек М-автомата (i-моделей) для всех входных воздействий, поступающих к i-му узлу сети от всех j-x узлов ($i \neq j$):

$$P_i^{t+1} = P_i^t + f\left(\sum_{j=1}^N w_{ij}^{t+1} P_j^t\right) - D_i, \quad i = \overline{1..N}, j = \overline{1..N}, \quad (4)$$

где f – сигмоидальная функция чувствительности; w_{ij}^{t+1} – весовой коэффициент; D_i – величина затухания i-й ячейки.

Коэффициенты связи рассчитываются по формуле:

$$w_{ij}^{t+1} = f(\alpha_{ij} \cdot P_i^t \cdot P_j^t) - D_w w_{ij}^t, \quad (5)$$

где α_{ij} – коэффициент пропорциональности; D_w – коэффициент затухания связей.

Представление интеллектуального агента в виде семантического графа является предпосылкой когнитивного обучения, которое несколько отличается от процесса классического обучения нейронных сетей с учителем. Когнитивное обучение определяется

двумя последовательными процедурами:

1) формирование множества объектов и установление их значимости (принадлежности к определенному классу);

2) формирование множества отношений между объектами путем задания весов связей между объектами.

Узлам М-сети могут соответствовать нечеткие понятия, например, классы ситуаций. Данное обстоятельство позволяет рассматривать М-сеть, как нечеткую когнитивную карту специфической структуры. Представление М-сети, как когнитивной карты, позволяет осуществлять манипуляции со смыслом символов: вершины соответствуют некоторым объектам, связи определяют отношения между объектами.

Неотъемлемой частью М-автомата является система «усиления-торможения» (СУТ) [9]. В контексте решения задачи распознавания и обучения интеллектуального агента СУТ заменяется монитором, который анализирует возбужденность узлов М-сети и выделяет доминирующую *i*-модель как образ распознанной ситуации. Кроме того, в функции монитора входит анализ уровня неопределенности решения задачи распознавания. Для распознавания ситуаций используется нечеткая модель классификации и соответствующая база знаний.

В соответствии с распознанной ситуацией и правилами из множества *U* агент рекомендует ЛПР принять соответствующие решения и осуществить действия. Таким образом, предлагаемая модель позволяет соотнести (связать, объединить) действия ЛПР и интеллектуального агента, и, тем самым, соединить субъективные и объективные не только декларативные знания, но и процедурные знания (действия).

Для настройки параметров М-автомата используются знания экспертов (на первом этапе) и обучающая выборка (на втором этапе). На первом этапе эксперты формируют алфавит ситуаций, подлежащих распознаванию и алфавит признаков. Каждому классу ситуаций и каждому признаку ставится в соответствие *i*-модель в М-сети.

На втором этапе процесс обучения разбивается на две части:

1) Формирование обучающей выборки, что можно выполнить путем анализа отношений «объект управления – система управления».

2) Предъявление набора обучающих выборок по аналогии с обучением нейронных рекуррентных или рециркуляционных сетей. Для оптимизации значений весовых коэффициентов используется эволюционный алгоритм. В качестве метрики служит заранее задаваемая величина расстояния между векторами [9].

Схема модели взаимодействия интеллектуального агента и среды показана на рис. 1. Процессом взаимодействия управляет монитор.



Рисунок 1 – Схема модели взаимодействия интеллектуального агента и среды

На первом этапе монитор процесса взаимодействия инициализирует начальные значения возбужденностей *i*-моделей и связей М-автомата.

На втором этапе производится циклический перерасчет значений возбужденностей и связей, пока не закончится переходный процесс и значения возбужденностей стабилизируются.

На третьем этапе монитор выделяет доминанту и вычисляет уровень неопределенности по формуле:

$$I = P_d - P_0, \quad (6)$$

где P_d – нормированное значение доминанты; P_0 – среднее значение возбужденности всех узлов, отождествленных с алфавитом классов ситуаций. Если выполняется условие $I \leq P_t$, где P_t – пороговое значение нормированной возбужденности, это означает, что доминанта отсутствует и класс ситуации не распознан. В этом случае монитор запускает процедуру наращивания М-сети. Создается новая *i*-модель, которая отождествляется с новым классом ситуации. Фиксируются значения признаков новой ситуации и заносятся в базу знаний. При помощи эволюционной процедуры определяются значения коэффициентов связей α_{ij} новой *i*-модели для доминантного уровня.

Наличие эволюционных процедур настройки весовых коэффициентов М-сети приводит к важному достоинству – генерации факта существования заранее неизвестной информации в заданном пространстве образов, о которых ЛПР ранее не имело представления. Если входной вектор-образ не соответствует ни одному из ранее запомненных образов, то создается новая категория для запоминания образа. Каждый вновь рассматриваемый образ может создавать дополнительные классификационные категории, оставляя неизменными результаты предшествующего обучения.

Общая методика разработки интеллектуальной СППР с применением предложенной модели состоит из следующих этапов:

1. Структурирование состояний процесса и составление алфавита ситуаций.
2. Отбор (группировка) информативных параметров для каждой ситуации и формирование алфавита признаков ситуаций.
3. Разработка моделей и процедур, преобразующих значения первичных параметров процесса в значения признаков ситуаций.
5. Формулировка вербальных правил распозна-

вання ситуацій относительно груп признаков.

6. Формирование нечеткой базы знаний.

7. Разработка М-сети, с узлами двух типов – рецепторы признаков и i-модели, отождествлённые с классами ситуаций.

8. Разработка алгоритмов и процедур мониторинга процесса взаимодействия агента и среды, поиска доминанты, вычисления уровня неопределённости, оптимизации значений связей.

9. Разработка алгоритмов и процедур распознавания и алгоритмов коррекции базы знаний.

Модель и методика нашли практическое применение при разработке подсистемы мониторинга технологических процессов выращивания монокристаллов полупроводников и производства технического углерода.

ВЫВОДЫ. Предложена модель взаимодействия интеллектуального агента и среды как инструмента мониторинга сложного технико-экономического процесса.

Модель включает М-сеть, монитор процесса взаимодействия интеллектуального агента и среды и базу знаний. М-сеть содержит узлы двух видов – рецепторы признаков ситуаций и информационные модели образов эталонных ситуаций.

Наличие эволюционных процедур настройки весовых коэффициентов М-сети позволяет агенту устанавливать факты существования заранее неизвестной информации в заданном пространстве образов и

пополнять базу знаний новыми классами ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методи обчислювального інтелекту в системах керування технологічними процесами феросплавного виробництва: монографія (наукове видання) / Бодяньський Є.В., Кучеренко Є.І., Михальов О.І. та ін. – Д.: Національна металургійна академія України, 2011. – 420 с.

2. Поспелов Ю.А. Ситуационное управление: теория и практика. – М.: Наука, 1986. – 328 с.

3. Шамис А.Л. Модели поведения, восприятия и мышления. – М.: Бинум, 2010. – 232 с.

4. Чикрий А.А. Конфликтно управляемые процессы. – Киев: Наук. думка, 1992. – 384 с.

5. Цетлин М.Л. Исследования по теории автоматов и моделирование биологических систем. – М.: Наука, 1969. – 316 с.

6. Журавлев Г.Е. Проблемы принятия. – М.: Наука, 1976. – 282 с.

7. Теоретико-игровые модели принятия решений в эколого-экономических системах / В.А. Горелик, А.Ф. Кононенко. – М.: Радио и связь, 1982. – 144 с.

8. Амосов Н.М. Автоматы и разумное поведение. – Киев: Наук. думка, 1973. – 374 с.

9. Мандель И.Д. Кластерный анализ. – М.: Финансы и Статистика, 1988. – 431 с.

INTERACTION MODEL OF INTELLIGENT AGENT AND ENVIRONMENT AS A TOOL FOR MONITORING OF COMPLEX TECHNICAL AND ECONOMIC PROCESS

I. Shevchenko, I. Shapoval, T. Stacenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: innessa-s@rambler.ru

A model of interaction of the intelligent agent, and the environment as a tool for monitoring a complex process. Various strategies agent behavior. Interaction model includes M-network, monitor the process of interaction intelligent agent and the environment, as well as knowledge. M-network contains two types of nodes - receptors signs of situations and information models images reference situations. Availability evolutionary setup procedures weighting coefficients M-network allows the agent to establish the facts of the existence of pre-unknown information in a given space of the images and add to the knowledge base with new classes of situations.

Key words: intelligent agent environment interaction, M-net, a knowledge base.

REFERENCES

1. Bodyanskiy, E.V., Kucherenko, E.I., Mihalev, O.I. (2011) *Metodi obchislual'nogo intelekty v sistemah keruvannya tehnologichnimi procesami ferosplavnogo: Monografiya (naukove vidannya)* [Methods of Computational Intelligence in Systems-max process control ferosp Wall drag-production: a monograph (scientific publications)], National Metallurgical Academy, Dnipropetrovsk, Ukraine.

2. Pospelov, Y.A. (1986) *Sityacionnoe upravlenie: teoriya i praktika* [Contingency management: theory and practice], Nauka, Moscow, Russia.

3. Shamis A.L. (2010) *Modeli povedeniya, vospriyatiya i mishleniya* [Patterns of behavior, perception and thought], Binom, Moscow, Russia.

4. Chikriy A. A. (1992) *Konfliktno upravlyaemie processy* [Conflict controlled processes], Naykova dumka, Kyiv, Ukraine.

5. Cetlin M.L. (1969), *Issledovaniya po teorii*

avtomatov s modelirovanie biologicheskikh system [Studies in the theory of automata and simulation of biological systems], Nauka, Moscow, Russia.

6. Juravlev G.E. (1976), *Problemu prinyatiya resheniya* [Problems of acceptance], Nauka, Moscow, Russia.

7. Gorelik V.A. (1982), *Teoretiko-igrovue modeli prinyatiya resheniy v ekologo-ekonomicheskikh sistemah* [Game-theoretic models of decision making-tions in ecological-economic systems], Radio I svyaz, Moscow, Russia.

8. Amosov N.M. (1973), *Avtomati i razymnoe povedenie* [Automatic and intelligent behavior], Naykova dumka, Kyiv, Ukraine.

9. Mandel I. D. (1988), *Klasternii analiz* [Cluster analysis], Finansi I Statistika, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 06.10.2014.