

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТА В КОРПОРАТИВНЫХ СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

С. А. Яковлев, А. Н. Швецов (Санкт-Петербург)

Для решения сложных задач управления распределенными бизнес-процессами целесообразно использовать корпоративные интеллектуальные системы поддержки принятия решений (КИНС ППР), основанные на агентно-ориентированных технологиях [1], [2]. В докладе обсуждается модель интеллектуального агента (ИА) в структуре КИНС ППР, которая определяется конструкцией вида $IA = \langle NIA, SA, VIA, MVB, VO \rangle$, где NIA – имя агента; SA – структура атрибутов; $VIA = \{ IA \}$ – множество агентов, образующих следующий уровень иерархии ИА; MVB – модель механизма выбора поведения; $VO = \{ O \}$ – множество информационных объектов (ИО), реализующих сценарии поведения ИА. Модель механизма выбора поведения ИА принимает следующий вид:

$$MVB = (MIS, MG, MSR, MA),$$

где MIS – модель информационного пространства, MG – модель целеполагания, MSR – модель поиска решения, MA – модель активных действий. ИА принимает решение о реализации в данный момент времени некоторого сценария поведения и инициализирует соответствующий ИО.

С точки зрения реализации действий известные модели следует разбить на три класса: с предопределенным конечным множеством элементарных действий; с множеством планов; с произвольными сообщениями и действиями в логическом языке.

Авторами предлагается обобщенный вариант модели поиска решения. Полагаем, что ИА имеет предопределенное множество статических целей $GS = \{ gs^i / i = 1, \dots, n \}$. Построены информационные объекты ($IO^i / i = 1, \dots, n$), функционирование которых должно вести к gs^i . Каждый ИО покрывает некоторый план, внутри которого могут быть сформированы произвольные сообщения и произвольные последовательности действий.

Модель поиска решения задается функцией $SR : GS \rightarrow VO$, где VO – множество вложенных ИО i -го ИА. Модель активных действий определяется отображением $AD : GA \rightarrow VO$, которое выбирает необходимые для запуска в текущий момент ИО. Смена активных целей (изменение множества GA) приводит к остановке и запуску соответствующих ИО.

Пусть $SA(0)$ – начальная конфигурация структуры атрибутов ИА, lvo – список вложенных ИО, $SMA(0)$ – начальная конфигурация МА-мира, ls – список стратегий ИА, lsg – список статических целей, ltg – список целей, получаемых «сверху», ldg – список целей, передаваемых «вниз», $ldag$ – список автономных динамических целей, lag – список активных целей. Аксиома исчисления K_{MVB} в момент первоначального запуска ИА принимает вид $AA = (SA(0), lvo, SMA(0), ls(0), lsg(0), \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset)$.

Для упрощения записи информационного пространства V и его состояния SV введем

$$lia = \{ NIA_j, \{ A_{IA_j}^{\Psi} / \Psi = 1, \dots, k \} / j = 1, \dots, l \}$$

$$lio = \{ NIO_j, \{ A_{IO_j}^{\Psi} / \Psi = 1, \dots, k \} / j = 1, \dots, l \}.$$

V представляем двумя списками – lia, lio , а SV – списками атрибутов – $laia, laio$. Тогда $(V, SV) \Leftrightarrow lia, lio, laia, laio$. Формирование первой ситуации МА-мира описываем правилом

$$(1) \frac{AA}{(2)lia, lio, \emptyset, \emptyset}.$$

AA

Выполнение обсервации определится правилом (2)

$$(2) \frac{(2)lia, lio, \emptyset, \emptyset}{(3)FV(lia, lio, \emptyset, \emptyset)}.$$

AA

Для сокращения записи обозначаем составляющие актецендента угловыми скобками с нижним индексом в качестве номера, и если содержимое данного компонента не изменяется в данном правиле, то повторяем $[\dots]_i$. Формирование начального состояния МА-мира опишется правилом (3)

$$(3) \frac{(3)lia, lio, laia, laio}{(4)[\dots]_1[SA]_2[lvo]_3[\emptyset; lia' := FP([\dots]_1), lio' := FP([\dots]_1), laia' := FP([\dots]_1), laio' := FP([\dots]_1)]_4[ls]_5[ls]_6[\emptyset]_7[\emptyset]_8[\emptyset]_9[\emptyset]_{10}}.$$

AA

Выбор стратегии задается правилом (4)

$$(4) \frac{(4)[\dots]_1[\dots]_2[\dots]_3[\dots]_4[ls]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}}{(5)[\dots]_1[\dots]_2[\dots]_3[\dots]_4[s' := FSS(ls, [\dots]_4, [\dots]_{10}); ls]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}}.$$

Для приема целей, получаемых «сверху» введем операцию чтения буфера «верхних» целей – $read(bltg)$. Соответствующее правило принимает вид

$$(5) \frac{(5)[\dots]_1[\dots]_2[\dots]_3[\dots]_4[\dots]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}}{(6)[\dots]_1[\dots]_2[\dots]_3[\dots]_4[\dots]_5[\dots]_6[\dots]_7[ltg := read(bltg)]_8[\dots]_9[\dots]_{10}}.$$

Далее можно сформировать цели передаваемые «вниз», динамические цели из множества $G^{AVT(D)}$ и выбрать статические цели $G^{AVT(S)}$

$$(6) \frac{(6)[\dots]_1[\dots]_2[\dots]_3[\dots]_4[\dots]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}}{(7)[\dots]_1[\dots]_2[\dots]_3[\dots]_4[\dots]_5[\dots]_6[\dots]_7[ldg := h^{DOWN}([\dots]_4, s', U, lag)]_8} \\ [ldag := h^{AVT(D)}([\dots]_4, s', U, lag)]_9[\dots]_{10}[lavg := h^{AVT(D)}([\dots]_4, s', U, lag)]_{11}}$$

Теперь может быть построено множество активных целей

$$(7) \frac{(7)[\dots]_1[\dots]_2[\dots]_3[\dots]_4[\dots]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}}{(8)[\dots]_1[\dots]_2[\dots]_3[\dots]_4[\dots]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8} \\ [\dots]_9[lag := h^A(s', [\dots]_9, [\dots]_{10}, [\dots]_{11}, Z)]_{10}[\dots]_{11}}$$

Множество VO разбивается на n непересекающихся подмножеств, таких что

$$VO \subseteq \bigcup_{j=1}^n VOga^j.$$

Такие подмножества $VOga^j$ будем называть модельными множествами вложенных ИО и обозначать $ModelSet^j$. Входящие в j -е модельное множество ИО будем обозначать $IO_m^{j,i}$, где нижний индекс m показывает, что данный ИО моделируется в процессе поиска решения. Для осуществления такого разбиения требуется функция $FMVO = h^{VO}(lvo, lag, X)$, где X – онтология, описывающая логику разбиения. Формулируем правило

$$(8) \frac{(8)[\dots]_1[\dots]_2[lvo]_3[\dots]_4[\dots]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[lag \neq \emptyset]_{10}[\dots]_{11}}{[\dots]_1[\dots]_2[h^A(lvo, lag, X)]_3[\dots]_4[\dots]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[lag \neq \emptyset]_{10}[\dots]_{11}} \\ (9)[\dots]_1[\dots]_2[lModelSet, lvo]_3[\dots]_4[\dots]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}}$$

В процессе поиска решения моделируем поведение всех ИО, принадлежащих данному модельному множеству для поиска пути к цели ga^j на глубину в gp шагов. Параметр gp определяется выбранной стратегией s^i . Вводим два счетчика: счетчик модельных шагов $Cmgrp$ и счетчик актуальных шагов $Cagrp$. Выполняем модельные шаги для модельных множеств на глубину gp . После каждого шага вычисляем предполагаемую оценку состояния МА-мира для всех моделируемых ИО и делаем следующий модельный шаг. Повторяем модельные шаги до достижения $Cmgrp = gp$. Вычисляем предполагаемую оценку преобразований целей для всех ИО и отклонение от целей. Определяем наименьшее отклонение

$$\Delta_{min} = \min(\Delta(IO_m^{j,i}) | IO_m^{j,i} \in ModelSet^j).$$

Эти действия формализуем правилами (9)

$$\begin{aligned}
 (9) \quad & \frac{(9)[\dots]_1[\dots]_2[lModelSet; lvo]_3[\dots]_4[\dots]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}}{[\dots]_1[\dots]_2[lModelSet; lvo]_3[\dots]_4[s'; ls; Cmgp := h^{sp}(s'); Cagp := h^{sp}(s')]_5} \\
 & \frac{[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}}{[\dots]_1[\dots]_2[lModelSet(K_{BM}(IO_m^{j,i}) | IO_m^{j,i} \in ModelSet^j; j = 1, \dots, n); lvo]_3[\dots]_4} \\
 & \frac{[s'; ls; Cmgp := Cmgp - 1; Cagp]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}}{[\dots]_1[\dots]_2} \\
 & \frac{[lModelSet(K_{BM}(IO_m^{j,i}), FP(Rt, K_{BM}(IO_m^{j,i}))) | IO_m^{j,i} \in ModelSet^j; j = 1, \dots, n); lvo]_3}{[\dots]_4[\dots]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}} \\
 & \frac{[\dots]_1[\dots]_2[lModelSet(K_{BM}(K_{BM}(IO_m^{j,i}), R\mathcal{E})) | IO_m^{j,i} \in ModelSet^j; j = 1, \dots, n); lvo]_3}{[\dots]_4[s'; ls; Cmgp := Cmgp - 1; Cagp]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}} \\
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 & \frac{[\dots]_1[\dots]_2[lModelSet(K_{BM}(K_{BM}(IO_m^{j,i}), R\mathcal{E})) | IO_m^{j,i} \in ModelSet^j; j = 1, \dots, n); lvo]_3}{[\dots]_4[s'; ls; Cmgp = 0; Cagp]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}} \\
 & \frac{[\dots]_1[\dots]_2[lModelSet(h^{ga^j}(K_{BM}(K_{BM}(IO_m^{j,i}), R\mathcal{E})) | IO_m^{j,i} \in ModelSet^j; j = 1, \dots, n); lvo]_3}{[\dots]_4[\dots]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}} \\
 & \frac{[\dots]_1[\dots]_2[lModelSet(\Delta(ga^j, g\mathcal{E}^j) | IO_m^{j,i} \in ModelSet^j; j = 1, \dots, n); lvo]_3}{[\dots]_4[\dots]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}} \\
 (10) \quad & \frac{(10)[\dots]_1[\dots]_2[(\Delta_{min}^j | j = 1, \dots, n), lvo]_3[\dots]_4[\dots]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}}{[\dots]_1[\dots]_2[(IO_m^{1,1}, \dots, IO_m^{1,min}, \dots, IO_m^{1,k_1}) (IO_m^{2,1}, \dots, IO_m^{2,min}, \dots, IO_m^{2,k_2}) \dots} \\
 & \frac{(IO_m^{n,1}, \dots, IO_m^{n,min}, \dots, IO_m^{n,k_n}); lvo]_3}{[\dots]_4[\dots]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}} \\
 & \frac{(11)[\dots]_1[\dots]_2[lvo := h^R(lvo)]_3[\dots]_4[\dots]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}}{
 \end{aligned}$$

После этого шага следует сформировать множество актуальных ИО, которые будут реально действовать и посылать сообщения, таким образом, переходя к фазе активных действий и реализации модели МА :

$$\begin{aligned}
 (10) \quad & \frac{(10)[\dots]_1[\dots]_2[(\Delta_{min}^j | j = 1, \dots, n), lvo]_3[\dots]_4[\dots]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}}{[\dots]_1[\dots]_2[(IO_m^{1,1}, \dots, IO_m^{1,min}, \dots, IO_m^{1,k_1}) (IO_m^{2,1}, \dots, IO_m^{2,min}, \dots, IO_m^{2,k_2}) \dots} \\
 & \frac{(IO_m^{n,1}, \dots, IO_m^{n,min}, \dots, IO_m^{n,k_n}); lvo]_3}{[\dots]_4[\dots]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}} \\
 & \frac{(11)[\dots]_1[\dots]_2[lvo := h^R(lvo)]_3[\dots]_4[\dots]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}}{
 \end{aligned}$$

Смысл этого правила состоит в том, что ИО, соответствующие Δ_{min}^j помечаются как актуальные, а остальные $IO_m^{j,i}$ замещают своих родителей в списке lvo посредством преобразования обратной подстановки h^R . Содержимое компонента $[\dots]_3$ принимает вид $IO_1, \dots, IO_i^a, \dots, IO_j^a, \dots, IO_l$, где l – мощность множества вложенных информационных объектов $\{VO\}$. Далее включаем в это множество и выделенный информа-

ционный объект IO_0 , представляющий действия ИА над своими атрибутами, который активизируется по умолчанию.

Описываем фазу активных действий следующим правилом:

$$(11) \frac{(11)[\dots]_1[\dots]_2[IO^a_0, \dots, IO^a_j, \dots]_3[\dots]_4[s'; ls; Cagp]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}}{[\dots]_1[\dots]_2[K_{BM}(IO^a_0), \dots, K_{BM}(IO^a_j), \dots]_3[\dots]_4[s'; ls; Cagp := Cagp - 1]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}}.$$

$$\cdot$$

$$\cdot$$

$$\cdot$$

$$(12)[\dots]_1[\dots]_2[K_{BM}(K_{BM} \dots (IO^a_0)), \dots, K_{BM}(K_{BM} \dots (IO^a_j)), \dots]_3[\dots]_4[s'; ls; Cagp = 0]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}$$

После того, как активные действия закончились, можно выполнить обсервацию и снять метки активности с ИО:

$$(12) \frac{(12)[lia, lio, laia, laio]_1[\dots]_2[IO^a_0, \dots, IO^a_j, \dots]_3[\dots]_4[s'; ls; Cagp = 0]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}}{(13)[lia', lio', laia', laio'] := FV(lia, lio, laia, laio)]_1[\dots]_2[IO_0, \dots, IO_j, \dots]_3[\dots]_4[\dots]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}}$$

Формируем новое текущее состояние МА-мира с помощью правил (13) и (14)

$$(13) \frac{(13)[lia', lio', laia', laio']_1[\dots]_2[\dots]_3[Pa; Rt; Fu]_4[s'; ls;]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}}{(14)[\dots]_1[\dots]_2[\dots]_3[\dots]_4[Rt, Pa; lia', lio', laia', laio']; Fu := FP(lia', lio', laia', laio')]_4[\dots]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}}$$

$$(14) \frac{(14)[\dots]_1[\dots]_2[\dots]_3[Pa; Rt; Fu]_4[\dots]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}}{[\dots]_1[\dots]_2[\dots]_3[(g\mathfrak{E}^j := h^{g^a j}(Pa, Rt, Fu) | j = 1, \dots, n); Pa; Rt; Fu]_4[\dots]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}}$$

$$(15)[\dots]_1[\dots]_2[\dots]_3[\Delta(ga^j, g\mathfrak{E}^j) | j = 1, \dots, n); Pa; Rt; Fu]_4[\dots]_5[\dots]_6[\dots]_7[\dots]_8[\dots]_9[\dots]_{10}[\dots]_{11}$$

Поскольку целей может быть несколько (в случае $j > 1$), необходимо сформировать комплексную оценку положения ИА в пространстве целей

$$\Delta_k = \sum_{j=1}^n a_i \Delta(ga^j, g\mathfrak{E}^j),$$

учитывающую значимость целей, a_i - весовые коэффициенты важности целей, n - мощность множества активных целей. Поэтому вводим правило (15)

$$(15) \frac{[\dots]_1 [\dots]_2 [\dots]_3 [\Delta (ga^j, g\bar{c}^j) / j = 1, \dots, n); Pa; Rt; Fu]_4 [\dots]_5 [\dots]_6 [\dots]_7 [\dots]_8 [\dots]_9 [\dots]_{10} [\dots]_{11}}{\nabla [\dots]_1 [\dots]_2 [\dots]_3 [\Delta k; Pa; Rt; Fu]_4 [\dots]_5 [\dots]_6 [\dots]_7 [\dots]_8 [\dots]_9 [\dots]_{10} [\dots]_{11}}.$$

Проводим сравнение с допустимым комплексным отклонением Δd с помощью следующих правил:

$$(16) \frac{\nabla [\dots]_1 [\dots]_2 [\dots]_3 [\Delta_k > \Delta d; Pa; Rt; Fu]_4 [\dots]_5 [\dots]_6 [\dots]_7 [\dots]_8 [\dots]_9 [\dots]_{10} [\dots]_{11}}{(4) [\dots]_1 [\dots]_2 [\dots]_3 [Pa; Rt; Fu]_4 [\dots]_5 [\dots]_6 [\dots]_7 [\dots]_8 [\dots]_9 [\dots]_{10} [\dots]_{11}},$$

$$(17) \frac{\nabla [\dots]_1 [\dots]_2 [\dots]_3 [\Delta_k \leq \Delta d; Pa; Rt; Fu]_4 [\dots]_5 [\dots]_6 [\dots]_7 [\dots]_8 [\dots]_9 [\dots]_{10} [\dots]_{11}}{(5) [\dots]_1 [\dots]_2 [\dots]_3 [Pa; Rt; Fu]_4 [\dots]_5 [\dots]_6 [\dots]_7 [\dots]_8 [\dots]_9 [\dots]_{10} [\dots]_{11}}.$$

При выполнении условия $\Delta_k > \Delta d$ переходим к правилу (4), т. е. переоцениваем стратегию формирования целей; если же $\Delta_k \leq \Delta d$, то продолжается функционирование ИА в той же стратегии. Данная модель реализуется средствами инструментального пакета DISIT (Distributed Intellectual System Integrated Toolkit), разрабатываемого под руководством авторов.

Литература

1. **Яковлев С.А., Швецов А.Н.** О методологии построения распределенных интеллектуальных информационных систем/Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Серия «Информатика, управление и компьютерные технологии». – 2002, № 3. – С. 45-48.
2. **Швецов А.Н., Яковлев С.А.** Распределенные интеллектуальные информационные системы. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003. – 318 с.