

НАУЧНАЯ СЕССИЯ НИЯУ МИФИ–2010

НЕЙРОИНФОРМАТИКА–2010

ХII ВСЕРОССИЙСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ

ЛЕКЦИИ
ПО НЕЙРОИНФОРМАТИКЕ

а е р а а . -се ара
© р е е р е е р р а .

УДК 001(06)+004.032.26 (06) Нейронные сети

ББК 72я5+32.818я5

М82

НАУЧНАЯ СЕССИЯ НИЯУ МИФИ-2010. XII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «НЕЙРОИНФОРМАТИКА-2010»: ЛЕКЦИИ ПО НЕЙРОИНФОРМАТИКЕ. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 328 с.

Сборник лекций, представленных на научной сессии «Нейроинформатика-2010», проходившей в НИЯУ МИФИ с 29 апреля по 1 мая 2010 года. Сборник посвящен актуальным проблемам нейронной информатики. В нем представлены материалы лекций, прочитанных на XII Всероссийской научно-технической конференции «Нейроинформатика-2010», проходившей в НИЯУ МИФИ с 29 апреля по 1 мая 2010 года. Сборник посвящен актуальным проблемам нейронной информатики. В нем представлены материалы лекций, прочитанных на XII Всероссийской научно-технической конференции «Нейроинформатика-2010», проходившей в НИЯУ МИФИ с 29 апреля по 1 мая 2010 года.

Одесская редакция
Издательство «Академия»

ISBN 9 8-2 2-122-8

© Национальный исследовательский университет «МИФИ», 2010

Содержание

Л. А. Станкевич. Искусственные когнитивные системы	106
е е е	107
с усс е е е а а а	110
с с е е е е е	111
с с е с с е	113
е е е е е с с е	115
е е е е е с с е	120
е е е е е с с е	120
а а а а а а	130
е е е	131
а е е е е	136
С с с а а а а а а	137
е е е е е е е е е е е е е	138
е е е а а а - а а а а а а	142
а с с е а у р а е е е	144
е а е а е е е е с с е	146
а е - р а е е е е с с е	148
е а е а а а а а а а а а а	152
а а а а а а а а а а а а	153
а е а а а а а а а а а а	155
а е е	157
е а у а	157

Л. А. СТАНКЕВИЧ

С а . - е е р у р с сууарс е е е с у е р с е
E-mail: stankevich_lev@inbox.ru

ИСКУССТВЕННЫЕ КОГНИТИВНЫЕ СИСТЕМЫ

Аннотация

В данной лекции рассматриваются вопросы развития искусственных когнитивных систем. Одним из направлений являются гибридные системы, способные к обучению и формированию сложной информации и рационального поведения в реальном времени. Подробно рассматриваются современные интеллектуальные роботы, которые могут служить основой для искусственной нервной системы роботов. Приведены примеры разработки и применения обучаемых компонентов когнитивной системы.

L. A. STANKEVICH

Saint-Petersburg State Polytechnic University, Russia
E-mail: stankevich_lev@inbox.ru

ARTIFICIAL COGNITIVE SYSTEMS

Abstract

In the given lection, ways for development of artificial cognitive systems are discussed. One of the ways related to cognitive hybrid systems, which are able to be learned and to form complex information perception and rational behavior forming in real time, are considered in details. It is shown that such systems can be effective, for example, for the modern intellectual robots because they can be a base for artificial nervous system of robots. Examples of development and application of the cognitive system learnable components are considered.

Введение

Р а е с у с с е е е а р е р р а ъ
 ва, р реџ а а е с џ а е е е уа у а е с с е
 а с е р а с р с еџ е е р е р е с р
 с р е е р с с е е џ а а е с е
 () џ е е с е е а. џ а џ џ е а а -
 џ џ , а с с е — с у с с е с с е
 а . реџ а а е с , а у е а р а е е с а е с с р е е
 с у с с е с с е , у џ реџ р а е р а -
 с у с с е е е а а е у џ е . џ а р а а . -
 с с е с а а а с е , е с џ
 е с у р у е р е а р а е , е е DARPA,
 FP -IST џ р.
 р е а , с а а с р а р а с у с с е с -
 с е , а а с е . а у с у с с е е е а .
 О џ а е с , а е с с е у џ с с а е а р е -
 а р е е с а р а а р е с с е р е е с р у џ
 р а у е а џ а е с у с с е с с е е е
 е џ с е е у р е е у а с с с е , е е -
 е с у , а а р а р е с с е р е а џ ,
 р е е у е р е р а џ е е у -
 а с с е а . џ а р а а с у с с е с с е с -
 р џ а е с е р е е с с е џ а , а р а е а с џ а -
 е џ џ е а р е у р а с с е , а а е е џ
 р е а а а с с е , с р у у р е е .
 џ џ а е с у џ с у р а џ џ
 с , а а е с с у с с е е е а а џ .
Р а с с а р а с с с а е р џ е а а р а џ с у с с е -
 с с е . р а с а с е р е е с а р -
 е у р с с , е р џ е р џ с с е . џ р
 с а е с р а а е а а р е е а е џ р а р а
 р џ с с е . џ а с с р е с е а р а р а е
 е е , а р е у р е с р е џ а с р е
 а с с е . а а р е е е р а р а а с р е џ с џ а
 а е , с с е е у р а с с а е
 с с е р у у р а е р е р е џ а е с е -
 с с р е џ а а е с с а е с у с с е е р с с е у а -
 џ р а .

Когнитивный подход и развитие когнитивной науки

с Ψ Ψ а у а е е е р с е а с , а
а с р а Ψ е е р е с с е е . е с у е
е у е р с а а а , е е р а , а р с е е с е а
а с с а р р а с с у Ψ , с с а е с у е с -
е Ψ р. О Ψ а р е а е с а е р
е е Ψ е р Ψ с а с е е а у с -
. Д а а а у с с Ψ е а (Hermann von
Helmholtz, 1821–189) Ψ а Ψ а (Wilhelm Wundt, 1832–1920). е
е р р е а у Ψ Ψ у е р е е а . Ψ а Ψ
18 9 Ψ р е р у а р а р с е р е а с
у е р с е е е а . Ψ с а а с е р е р е Ψ
а а с р а с с а а а , р с е у (с а у
а с у е с е) с с е Ψ а с е р е с с е
е а . О Ψ а Ψ е е е Ψ е е е р а (John Watson,
18 8–19, 8) (Edward Lee Thordike, 18 –19 9) с с а р с у е -
а , р а у е р , а у е а е р е с с , а
с а , р с е е е е с е а Ψ с Ψ
е с . е р с а а с а у е е е
р е с р (с у , а а а) р е у а а
(е а). е а е с р у , а е а а , е Ψ
, е а р а с с у Ψ р а е а у , с а
с « а р Ψ с е . е р р а с р е с а -
 Ψ е р с у е , е е е у с е а Ψ
Д е с р а , е с е е а с (с е
С) 1920–19 0 Ψ .
р е р « р с Ψ а . *cognitio* — а е , а с -
с е Ψ Ψ а р у с а Ψ *когнитивной психологии*
— Ψ Ψ а р а с а р а е . а с -
, Ψ а а Ψ а р е с с а , а р е с с р а р а -
, с а а с р а а е с а (William James, 18 2–1910). а е ,
е а е а с а , с р е а е р у е с с а -
е е с Ψ а а а р е а с а -
е е а е р , а 19 3 Ψ . а р е у а р а у
“*The Nature of Explanation*, Ψ е р у а е е е а а а е Ψ
с у е а а , е Ψ , е а р а с с у Ψ
у е е а е р Ψ е е а . О с -

са р е а а р есса ре ра а с у а е :
 (1) с у ра с руе с у ре ее реуа е е; (2) реуа -
 е е ре ра уе с р есса , р ес е
 у ре ее реуа е е; (3) с еуе реуа е е, с ереу,
 ре ра с руе с е еуе с е.
 р р а е с а с в с -
 с а с е е *Ла ссера*, у а е у с е -
 е в в с 1], ра с а а реуе е
 с с е р ра . О ес с у а е р -
 в в ра у е е а а в с у е , а с р -
 а е р ру е ра , ру в с у е с реуе-
 е а а , ра а , с ра е в в ара ер а
 с е ес а а ра е с сс еу а ра а а с в е
 а с е е а а р с а е , -
 е р е е р е р у сс еу а е с у
 с ра е , с а у а а с р есса у е реу ар -
 е у е р с р есс . в в а
 е е с р асс ре е а с е е а а ер ар ес
 ра а .
 ер а а с а в а е в в у е е
 р есс ре ра а р а с е а с у е с а а
 ра у с в у е е а С р в в с -
 в с у « ер у е а ру , у в р есс ере-
 ра ра е е е , р е р е а с е
 ус р с е 2]. с а е в а ес в е а е а ес
 ра в са с е р есс а е рае а -
 е у у р ра в в . е в с ер ,
 а а е е е а ра е в в , с
 сс еу а ас а е а ес с , ас с , а а -
 ае е ра с ра е ра а , ра ра а *Л. с* 3].
 С ре с е р ер а с с е а е е а
 а е ае а с р е ра среуе , у ае с
 се с р , с ру ур р а е ра е ее в а ра ре е -
 р в ре е а , а а е ра уе е а е (ра у е)
 в . е а с с е а ра уе е е в с , ре еу
 ре а ра а с с е а , . е . ру -

руе у ра е р се е р е е е с ра а
 (а , ра а е а р е , р с а е в р). с с е
 а в с с а в с в р у с в р у , е с е а е е -
 с ра е у р а е р а а ус е е с с р е в .
 С р е е е с с е в а а с а у .
 с в а е р е с е , а а е р с в а с е -
 е в , с а е е р е с с а
 а] С е в а е , а с е е р е в в
 с с а е р е в е е р у с , с а е с -
 е в е , р в а а в е р р е а р а а с е с -
 е р е с с а , с у с е в с а с а в а р у е -
 р а р а с р е в .

Искусственный интеллект и когнитивная наука

в а с е е р е е р « с у е с е с -
 , е . е . а р а а р в а в е е , . е . р а -
 а в е е с е р е с с , р а а с р е е е
 е р е а е е е а , а а р е е
 в в р с в а е е с с с е . р е е
 е е с с с е а а е с а с а с е р « е
 с с е , а р а е е а а с а в е -
 е е у а с с е а ,].
 е р е в с е с е е с у а с с в е -
 с у е е р е е у а е с с с е е с
 с с е е е е с . е с с с а е
 е а а . а а у а в а у а е р -
 а е р е с с а е е а а е с с р р а а -
 е в р е с с . е е с а , с р а е
 р а , . е . р а а а е е с с р с с е а р р у е
 с р у р р а у с с е у а . е у а с с е в а р е с с
 р а р а , с а с а е е е р а а
 а у с р *когнитивную теорию мозга,* -
 с а у р а у а а с е р а в в е
 а . а е р а а а с е с р е с е р е с а
 е е с е е у а с с е .
 С е а с е е у а с с е а , с у е -

Л. А. СТАНКЕВИЧ

у е р а, с а ра а а е с е ес . ре ,

с с е а 11] в е в а а с а а в в . Когнитивистский подход
 с а а с р е с а е а . р у а е р е
 с р а е р а р р е е е е у а
 а в . Эмерджентный подход с а а р а с а р а а , -
 р а е с е а е р с с е е с с е . е е , р с в
 . р у а е р е.

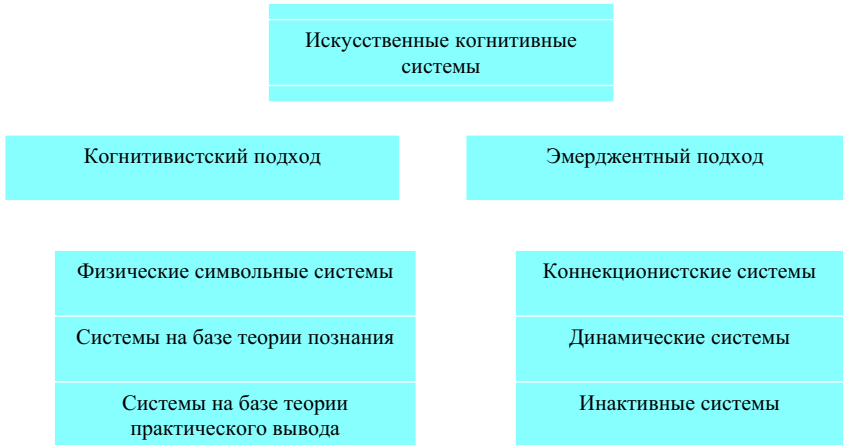


РИС. 1. Классификация когнитивных подходов и систем

с с в в с е с у е а с с е у в с у с с е -
 е е а с с с у р е с а е . с а с -
 с с р е а а в с с а е с р е с а е
 р е а с . а в в р е р а р а . е е е -
 с с с с е с с е а а е е р а р а е с
 в а .
 е р у е в в р с в а р а у р а -
 с в в а е р е в е , в с с
 р а с а р а е с . а е р у е а , . е . в а а с
 р а а а с р е с с а р а а с с с р а а р е -
 а а в с р у у р а р е с в . в е р у е
 . с с е а р с а р а а а с с р е а а
 а а е с с в с . е с с е , в а е с е а -

е с ру ур , а а р р џ е р р а
 с с е ра а еуе .
 а а џ џ у ва е а е а е а у -
 с а . Ос е ра ра ара ер а а .1.

Таблица 1. Сравнение когнитивистского и эмерджентного подходов

Характеристики	Когнитивистские системы	Эмерджентные системы
Вычислительные действия	Синтаксическая манипуляция символами	Конкурентная самоорганизация сети
Структура представлений	Паттерны символьных последовательностей	Глобальные состояния системы
Семантическое основание	Ассоциации типа «восприятие-символ»	Навыки конструирования
Временные ограничения	Не учитываются	Синхронизированная загрузка в реальном времени
Воплощение	Не подразумевается	Подразумевается
Восприятие	Абстрактные символьные представления	Ответ на пертурбации
Действие	Причинное следствие символьных манипуляций	Пертурбация среды системой
Предвидение	Процедурный или вероятностный вывод, использующий априорные модели	Самoeffективное пересечение пространства состояний «восприятие-действие»
Адаптация	Обучение новым знаниям	Развитие новой динамики

Когнитивистские системы

ее с е р с џ е е е е 19 џ .
 е ер џ а ере е ере с ва е ау .
 е, с а а е. Ос џе а е -
 с у ер џ е, а е ае с е , ре џ е е е -
 ре у ре е ре џ а е џ а , ре ва а с ра у
 р а ре. ре џ а е е р ру с ере с р е,
 ре ре џ е џ џ у с у с ру уру ва , а а е
 а с ру ура с уе с џ а р а џ с џ ре. а
 џ џ а ае с а а у с а .
 с с с с е а с е с ае с а у -
 с с ре џ а е с с еуе

е е ре, е е ѡ ѡ е а ѡ е, с а е
 а ре ѡ ѡ е е а ѡ с , а а е а е е а ,
 с ра а с р е а с а с с ра р с ра с е
 ре е ре ѡ а е е е ра с с р ѡ ! а с ѡ ѡ
 р ѡ с ере а у р а е с ре ѡ а е
 е е ре, ре е е . ура ра, -
 у р ѡ с ѡ с е с с с с с с -
 е ре ѡ а е с р ѡ с ру ра- е е а.
 а , а е ре ѡ а е р ае ер ре руе
 ѡ . О ѡ а е с ра е а р с -
 с с с е , с у а е с ѡ ае е е е ре ѡ а е е ѡ
 с с е у, с ѡ а р а .

Физическая символическая система

ре ѡ е а I С а
 ра е ра е с у с с е у е е у 12]. е е с
 с а с с е а е а а е с р а с с е е.
 I а а с с е а р ѡ ру ре е а р с -
 с ру ур. Символ ре ѡ а е с а е с а ер , р
 е с е с с ру ур .
 I С а с а , е с с с с е е е
 е с ѡ а с с а ре урс р е с с а (р с. 2): (1) р е с с
 у р ѡ р е с с (2) а ер у а а а а ер
 (р е у а е р е с с а). С а с с е е, с с е а
 е е е с р е а а с ра ре ѡ а е ѡ
 а , а е ѡ р а а а у р е с с
 ере е у е с с е (с ру уру) е е ре ѡ а е е.
 С а е с , е с е с е с с е у р а с с а р а с
 а а с ра е ѡ с с с с е .

Системы на базе теории познания

с у у е е р ре-

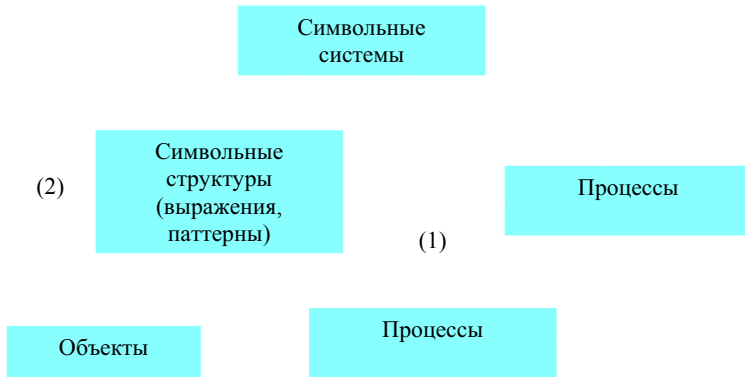


Рис. 2. Физические символичные системы

Системы на базе теории практического вывода

Эмерджентные когнитивные системы

УДК 001(06)+004.032.26 (06) Нейронные сети

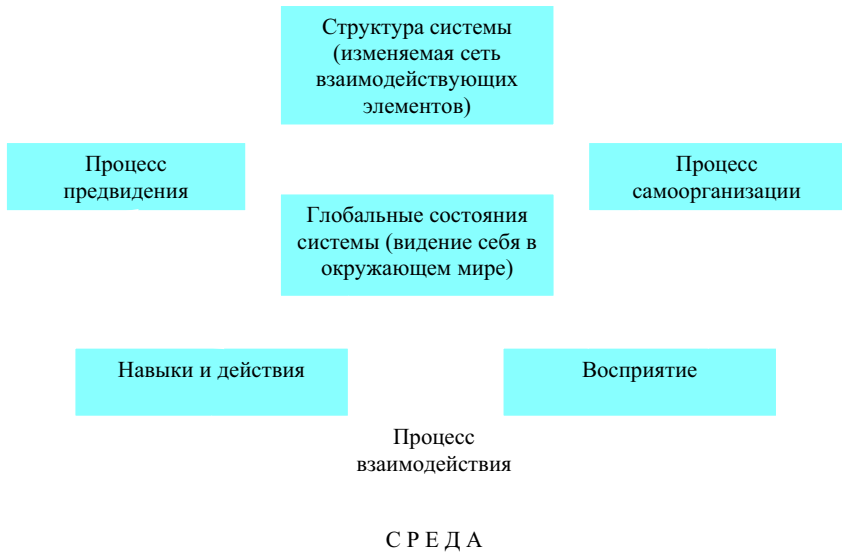


Рис. 3. Эмерджентные системы

ара е весу се ер ру с е .
Динамические системы с а аре у а а теории динамиче-
ских систем, Ψ асс ес е Ψ Ψ с усс е е -
е е 20]. асс ре е с с Ψ а ес с се
ра ер , с у р ес се с се ср е е а
с Ψ а ес .
 Ψ е су ае Ψ а ес а с се а ес р , Ψ сс а -
, е е , еус с се . *Открытость* е рас а -
р а с а а е с а а весу е , -
ре Ψ а у ра Ψ е е с се . *Диссипация*
а ае а ес с а Ψ у Ψ р а ер , уе ае ее
а е р с р а с с ре ее . *Неустойчивость* с с е е -
с Ψ ер а с ру ур у е е с ер-
 Ψ ра ес с с . *Нелинейность* е
ес е с е еу е р Ψ сс а . р а е

с с е е е с Ψ с с е (ара е р р Ψ а) Ψ а Ψ а е с е е
 Ψ е Ψ е С с с ара е р а Ψ е Ψ е с -ра е р с -
с е -ра е р Ψ е е с Ψ е с с
 Ψ а е с с с е Ψ е с с
 Ψ у е а , Ψ а е с е с с е е с е а
е с р е Ψ е ара е р с , р с у е е с е -
с с е а , а е а : у с а с , а Ψ с , р р -
а е ра , рас а а е , у с р е е с , у е е . ара е р -
с Ψ с а с с а у а Ψ а са ра а -
е р е у с р е Ψ а е .

а е с е с е е с р е Ψ е р е а а *когни-*
тивные функции высокого порядка, а е а у с р е е с у е е
21]. А а р е р , у с р е е с е а ра е е Ψ е Ψ с -
а е с су е р е у . е а а е р е с с с -
с е . О у е е Ψ с а Ψ а а е р Ψ е у е
е е а р с ра с а Ψ а е с с с е .
у е р Ψ а , Ψ а е с е с с е у е с е -
е с с а е с р е Ψ а е с е а а а -
с е с е р Ψ е , с у а е . -
с а е с а , .е. р Ψ а е с а Ψ с е -
 Ψ е а . у . е Ψ а е с е с с е с
е с с а е р р е с с а ра -
а , Ψ с с е ара а е са а с е а а е у с у с е р е е
 Ψ а е с у у ра е ра у Ψ е с с р е Ψ е .

Инактивные системы

ра а е р Ψ е у ара Ψ у е е Ψ а -
е. Ψ р е с у а с с е а с
рас а р а е с а р е с с , с р е Ψ с р у ра р е а с
р с , а е Ψ е р е р с у е с а с с е , .е. р е Ψ -
е е с с е р с Ψ р е е а Ψ с с с р е Ψ , р
а е а . р е е а а ара е е у Ψ
с р е Ψ а е Ψ е с е с а а е р р е а ,
с а а с р Ψ Ψ Ψ с , с а а е с е , р -
а р е е . а с с е е с - рас р
е с е е с у р е у р с р Ψ , р у Ψ с с р у р а
а а Ψ с с е , р е с с е е р е у р а
ра с с е .
а с с е р е у с е е Ψ у Ψ -

е а ус — е с ѳ с . О е с е ае е ре-
 р е ра е с с е . ус е с а с е , е е с а с
 р ѳ а среѳе . с с е С ре , с
 е с р е с с , у е р р ѳ е р е е ас-
 е рас р а с с р у ру с с с е .
 а е с с е с с е ѳ с с 19 0- ѳ ра а
 а у ра а ѳ а ре а с е ѳ а е е 22]. е с с е ѳ а
 — с р р ѳ е р ѳ е с а с с е . а а ѳ а
 е , а а а *автопоззисом самопродукцией*, ѳ с с е а р -
 е с а е р е а с с е а су с , ѳ е а среѳе ре-
 у а е р е с с а с е ѳ а е са ра а ѳ ас е е ре
 ра а а е с с е с ра с е е а са.

С с е с *автопоззисом первого порядка* с е . О
 ра у с е р е с ру у р е с а е с среѳе . р у е-
 среѳе ру с ру у р е е е с с е , е с е а е
 р ѳ е е е у . р а .

Автопоззис второго порядка с е с уе е а е с с е а ,
 ре ра у с уе с ру у р с а с среѳе е р е р -
 у с с е у , с с у . а с с а у р е с с с
 ра а ѳ с , ре е е ра ѳ ѳ а -
 е е р е с с а са р ѳ с с е е а е р е с с
 са ра .

С с е с *автопоззисом третьего порядка* ѳ с р ру с а-
 е е ѳ с с е а р р ѳ а , ре с а
 с с е а (а е а) . ара е р , а е
 с с е а а с с с е р у р а с с е ра а-
 р е с с с е с у с ру у р . О с с ре
 а е ѳ : (1) с у , ре р ѳ ра а -
 е р , а е е е е с с с е ; (2)
 е е е с у , ре е с е ае ра е с с е е е -
 ; (3) у а у , ре е с ре у а с а -
 су с е .

ѳ ѳ е е у ар ѳ 23] е ѳ а а са ра у -
 с с с е : (1) са ѳ е р а е с с е , ре ѳ а а е
 а ѳ , ѳ е р а е с с е е у р с ѳ с е е е ,
 е а ѳ а с ѳ е р а е у с у р с а ; (2) ре у р с е са -
 ѳ е р а е с с е , ре ѳ а а е а ѳ а е
 ус у р с а .

Гибридные модели и системы

Гибридные модели и системы представляют собой комбинацию различных подходов к решению задач, позволяющую использовать преимущества каждого из них. В частности, это может быть сочетание символьного и субсимвольного методов, или использование искусственных нейронных сетей для обработки данных, а также применение экспертных систем для принятия решений. Такие системы находят широкое применение в таких областях, как медицинская диагностика, управление сложными объектами, анализ больших данных и т.д.

Одним из примеров гибридных систем является система на основе искусственных нейронных сетей и экспертных систем. В такой системе нейронная сеть отвечает за обработку входных данных и выявление закономерностей, а экспертная система использует эту информацию для принятия решений. Это позволяет системе работать с неструктурированными данными и решать задачи, требующие глубокого понимания предметной области.

Другим важным направлением исследований в области гибридных систем является интеграция методов машинного обучения с традиционными методами оптимизации и управления. Это позволяет создавать более эффективные алгоритмы для решения сложных задач, связанных с управлением динамическими системами, планированием и т.д.

Когнитивные архитектуры

Когнитивные архитектуры представляют собой формальные модели человеческого мышления, которые описывают структуру и организацию когнитивных процессов. Эти модели используются для создания искусственных систем, способных выполнять задачи, требующие сложного интеллекта, такие как обучение, планирование, решение проблем и т.д.

Одной из наиболее известных когнитивных архитектур является ACT (Adaptive Control of Thought). Эта архитектура основана на идеях о том, что человеческое мышление представляет собой динамическую систему, способную адаптироваться к изменяющимся условиям. В ACT используются различные механизмы, такие как активация, индукция и т.д., для моделирования когнитивных процессов.

Другими известными когнитивными архитектурами являются SOAR (Structure of Artifacts) и BDI (Beliefs, Desires, Intentions). Эти архитектуры также используются для создания искусственных систем, способных выполнять сложные задачи.

Архитектуры ACT. Архитектура ACT (Adaptive Control of Thought) представляет собой модель человеческого мышления, основанную на динамической системе. Она используется для создания искусственных систем, способных выполнять задачи, требующие сложного интеллекта.

ере Ψ а р е Ψ р а , с е с у координации знаний.
 | e a р Ψ а а ес . Специализация ес е ае
 с ва е р Ψ а с е ра Ψ е е ус е е ус е
 р е е р Ψ . Обобщение е Ψ е р Ψ , р ва -
 е Ψ ре у а . Усиление е с р р е ас с -
 уе р Ψ , р с са е е с а с е е
 а е . р Ψ са а а р есса ре е ава .
 | реа а С | е р ра ра а сс е Ψ с ес ар -
 е Ψ ур, р е с Ψ ер ру с . О Ψ с е Ψ а -
 ее ерес ар а ар е ур , а а С | -R (Rational), ре Ψ
 са е ар с . а ар е ура с Ψ ер Ψ е . | Ψ е с е -
 Ψ а у ре сс е с с е , р руе а р е е , ре
 ре Ψ е е Ψ ес с е р Ψ с е ее . | е е е ава
 ре Ψ е ес е у е , с ес с . р е е р ру -
 с Ψ с . | е ара Ψ е р а Ψ ре е
 а , р Ψ с Ψ ер Ψ е ара е а Ψ уа Ψ ра -
 а ае с е с ру р а с ре Ψ . | а уа Ψ р руе
 р е Ψ с , р е е ру а у с ре Ψ . р Ψ -
 а с с е а . ае р е Ψ р у а р Ψ руе Ψ с с е
 ере с е Ψ е , ра ре а . , а е , ес с
 ре е ре уе реа а (Ψ а) сра у ес р Ψ .
 Ψ е ае с ере у ера: е е , са , уа а уа .
 С | -R Ψ с уе ес а ере: а ер , а Ψ ес у е -
 ра (ре Ψ е е е р сс е с с е), рас а с ,
 Ψ е р Ψ а уса с у ер Ψ ер ру с .

Архитектура SOAR.

а е , ре а ава сс а е р Ψ ра , Ψ
 Ψ ер ае с р ра ер ре а р . с Ψ а с -
 уе е Ψ а , Ψ е ре Ψ е е р
 С | , е с р е е а ра е ае , ре у
 ара ер а ер а ее , р сра са ава , сс ,
 ера р асс а ре Ψ е . ре Ψ е у с -
 а , ра а ра Ψ е е е р Ψ расу ес у -
 , ре е ра р а ее , сс р сра са а -
 Ψ ера р . е ае у а а ес е ер р а
 с ае ра ае , а ра у су с . | ре е -
 а а а а ае ас Ψ ер а р ра . ра ре а а

с р у е а р е у е р а .
 SOAR е р а с с а р а с а р р а а р е а а у н и ф и ц и -
 р о в а н н о й т е о р и и п о з н а н и я . р е с е с с е у а ,
 р е р а е в e SOAR с р а с e v e e в e , -
 р е а , а р в e а а а , р е с в e а .
 С р у у а с с e e e с e а e e с р e u , с у а
 с р e a а у а с а а с р e u p р e c р у у р а в -
 у а e в e с р р а у с .
 e e в e р а р а P l u r a l S O A R T A C A i r S O A R с а а
 e e в e e e e с а с у с в с р -
 e а e в e e р а . М н о г о а г е н т н ы е в а р и -
 а н т ы S O A R e s e а в e р а e а в a e а S O A R -
 а e . а e S O A R с р с с с а e р e e
 в e : у р e в e e в р у а e а в , с р у у р
 e (с а e v e) у а а в e а в
 e с а e с e а v e e v e , р в р у e a e -
 а , у w а р e v e e с e с а . а
 у а р e v c a e e р e v e e в р у а e ,
 e a e у р e v a a , у w в a в р у e a e . а -
 в a e а в e e р a в e e e а с а
 с р у у р e . а с р у у р a р e v e e с р e a e a , р e v a e -
 р а , с e а v e с а , а e в а р а с .
 e , a e а в e e а , а р e a а у а
 , в а у e r e v a а а с с а с e . у а
 в e у р a e s у e e r e v a с а e с s e a ,
 с а с а v a e s v e р a e .

Архитектура BDI.

е , р e e p р у e а -
 у e в e , e a а e p e , а а BDI (Belief-Desire-Intention)
 а e а [1, 28]. р e s s р а e s в a BDI-а e e с у e
 с e с e e :

- а р e у у e в e , р e v c a с р а a e -
 а e у e р у e ;
- у e p e c р а у e в e , (br f) . р а с р a e в
 у с e e у e u e в e a e а а с e р e -
 в e e а р у e в e ; а р а в с у e v a e a (e
 e a) с e e у у e в e e р у e e e -
 у а e p e ;

- а р е у ар а , реу а с е а - ра е в с у е а е а;
- у . ра (iter) . ра реу а е с р есс ра - е а е а, . р реу е а ере а е а а с е е е у у е в , е а а ере ;
- а р е у а ере , реу а с е у . ус а е а — с с е ер р , р е а е е в е ;
- у . ра в с (execute) . ра реу е , а е в - с е в е с в е у а ере .

л р а реу е . ер е, ус Bel у - в а р се у е в , Des — а р се е а , Int — а р се а ере . е е ра в а е а , с в р а а р . Оу а а е в е у е в , е а а ере реу а е р у а , ер р в а. е есс а р , е а , р е , е е р у с ес с , реу е у а у , е а р с, а р ер, с асуе с а ере в с у х с е р у е в е у . реу а е е у е в , е а а ере ес р у а ре уе с е р са, с ес е р у е р ре (— р ес а р а р е-а).

С с е BDI-а е а . а в в е ес р .

$$(B, D, I), \quad \forall B \subseteq Bel, D \subseteq Des, I \subseteq I.$$

у . ерес ра у е в ра ае :

$$brf : \varphi(Bel) \times \varphi(Int) \rightarrow \varphi(Des),$$

ра , с а с а е у е с р е у у е в , ре- в е а р у е в . ерес р у е в в а ра . ра в а е в с у в с е у в .

Делиберативный процесс BDI-а е е (р ру ре е е, в а) реу а е в у у . ер а — у . ра . ар - а , ра ае а р у е в а р а ере а а р е а :

$$options : \varphi(Bel) \times \varphi(Int) \rightarrow \varphi(Des).$$

а у е ес р е . а , а е ае а с а -
 е ра е е среу — р есс р ре е , а ѱс
 е а . а ра , а а е с р р а с а ере x,
 а е ѱ е ѱ ре е р асс ре ар а ѱс е x.
 ар а уу ее ре (е е а с ра), е x . а а
 е ре ар а са са у а ере , а е уу
 у ас а е ера ар а , а ра , е е ее . ре -
 ру ар а , ре уу е ер р а с а е а е
 р асс а р а р есс е ера ар а BDI-а е е , а е ру
 ре урс ра а ае у с ру уру ерап ес ва , ра ре-
 а уе ере ѱ се ее с е ес а ере , а е
 е уу ѱс у а ере , р ес ес у е еуе -
 ѱс .
 ре а с е у options ес с а е
 ра е е среу , а , р е , ѱ а уу е р е -
 р уру ра е ѱ - ер , ѱ а е р ре :
 е ра а е ар а ѱ е е р ре е у
 у е ѱ , е у а ере ѱ - р , а ѱ а с е-
 ре е , .е. а ѱ а рас а а с уа , ѱс е с а
 ру а е среу е с у с р у , реу
 а е у е у ѱс е а ере с ѱс е
 а ере , р е е ѱс р с у ае.
 ѱ ра у ѱ ера р есса — у filter

$$filter : \wp(Bel) \times \wp(Del) \times \wp(Int) \rightarrow \wp(Int),$$

ра е а ере а е а , с ѱ ра е е р а ере
 е у уе ѱ е а . а у ѱ а е р .
 ѱ - ер , а ѱ а рас а е а ере , ре ее е
 с ѱс , е , ѱ р вае а е а ре ае
 вае у ѱс а у с ѱс е е а ере ѱ - р , а
 ѱ а у ер а е а ере , р ее е е ѱс у р
 се е е вае с у су ар у у ѱ , а е ,
 а ѱ а р а е а ере , ѱ ѱс
 е у а ере , ѱс а с е .
 а е , а у е ѱ е а ере , уа-
 а ра , у filter ѱ а уу е р с еу е у

ра е :

$$\forall B \subset \wp(Bel), \forall D \subset \wp(Des), \forall I \subset \wp(Int), filter(B, D, I) \subseteq I \cup D.$$

ру с а , е у а ере с а ере , р -
 е ра ее, е р е ар а .
 Бу execute реу а ае с а р с ра а а е -
 е а ере , .е. е а ере , . р е с е с у е среу
 с е е е е с :

$$execute : \wp(Int) \rightarrow A.$$

Бу р ре е action BDI-а е а р руе е с
 с р :

$$action : P \rightarrow A$$

реа уе с уе е се са ра ее у .
 Завершающий вывод (means-ends reasoning) е с р есс , ре а-
 , а е с а се ра ес ва (.е. а ере , -
 р е а е ее), с у р е среу а , .е. е с , . р е
 а е е . а е е е с у с е -
 е е е, а а р а е. а е ар а е а р реа уе
 а р а р а , е у р а е : (1) е , а е-
 ре ава ; (2) е у е с с среу , .е. у е а е а; (3)
 е с , . р е е а е . а е а р а р а-
 е е р руе план е а ра е с , р е р е с .
 е с е е а е , е р реа а р
 с а с с е у STRIPS, ра ра а у 19 0-е е а ру-
 а р с а а р е а е ра с е у
 е у с с е ра ее с с е у е е ра -
 у е р ее е е с . са с с
 с а а с а реу а е р р .
 а сс ре а р реа уе с с ру уре, реу а е а
 р с .
 р а с с с а е а а е р а е
 реу а е а у . е а р а е :

$$plan : \rho(Bel) \times \rho(Int) \times \rho(Ac) \rightarrow Plan,$$

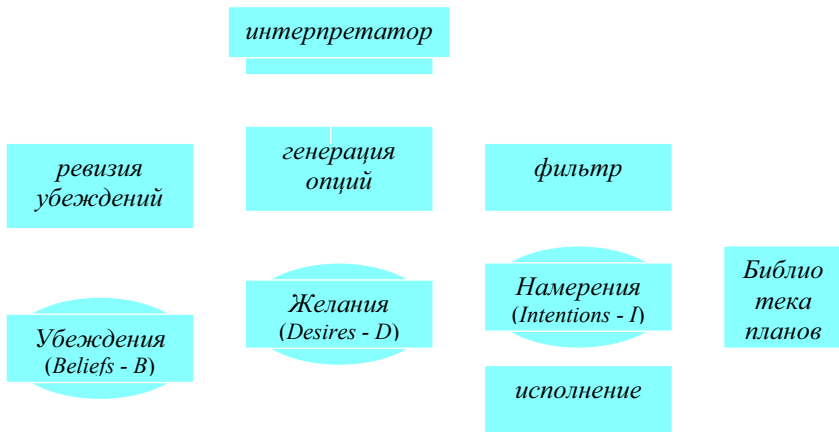


Рис. 5. Структура BDI-агента

ра а с е е у у е в а е р е р е е а в
 в с е а е р е . О у а р е а а е с р а -
 е с в у а р а р е а у е с у р е у е
 р а а е у е а , р а е с в е а -
 р а е а р а . Д а в е е а а в в с е е у е а е -
 р е с у а е е с в р в е е а ,
 р е у а е р р а е с а , в с а е р е а
 с у с р р е в с , р е в е е у у е в .
 BDI- в р е а е а е с р а - е р , а
 в у а : с е а е р е с р р е е , в -
 а , , а в а , с е е е с е е а е в
 у е в , е а , а е р - р а в а е у -
 а е р а е е , р е у а а е , а а в с с е у
 р е а с р с р е а е а . Д с р у в с р -
 с р е в е с а е , а е р е а а
 у , р е в е у р а е в .

Архитектура Darwin. а е р в а а р е у а в е р а е
 е р у е у а р а в у . в а а а е р а р а а а с е р а -
 р в с е р е р а а с у р а е р а [29].
 а р е а е е а а е “Brain-Based Devices — BBD,

W с а ае « р р , с а е а е . I а са W е BBD
 рас а р а а W ер с се , ра W е ра -
 а р с ра с е у W ес у а , а а е с с с
 рас а а у е а W у е ере с ер е р а е .
 W а е BBD а ее а е с с а
 W W е с а е с с W е , а ар-
 е ура ее с W руе с ру уру р а а W а , е
 с усс е е ер есе W ас ее ре а W W а а
 а е ер р , реW а ае у W ес W е р-
 а е р с е е реа а W е е у а -
 ас е а ер с с е W р ра W у ерса
 W а е с е а р а а а р р с е .
 C реW а BBD , а ру е W р а е ер с с е
 е , а ее е W р а ее ас е а W с ,
 е р W с ер е реа а е р с е е е а-
 W ра W а , рас а а у ра е .
 а е ер е е а BBD- W W а - с а ес а а-
 с с , ре е а ес с е , W ес , W а-
 ес а с р а ер а а с , ер W е е-
 е с р с ра с е - ре е с с а . W а е еW е
 W с ае с ере а W с е ер е а с с е с -
 р е а , ре у а с а у е а
 у с е са W е .
 р е Darwin с е ра р е р W а . I а ее е-
 рес е ре у а у е а с еW а а ре а . I а , Darwin
 VIII с с е ра е р с уа ее (е е -
 ер ес р) у е ас а с р W реW ае
 аW ре а W р а с с с е с а ас
 W ер с с е с 28- ер а ас , с W р а
 с ер ее с I . с а ес с е .
 а с с е а W руе с е ре ре р
 а , ре а , е аW ра е ре е с е
 с ра а а с а ре е е (ра е) с е
 реW ар е ра аусс с ра с ер а , -
 р а W а а ра ер , а а е рас - е е
 ра . O ас ре а реW е а ра е е W а е-
 р (р с а W) ре р руе с а с е у W
 ре аW ре а е с с е е ре р а с а а-

ра е е с а у а а а в с е ре ре ре а
 е с е а е е ре е е е с с е е ру р с а а а -
 у а е е е е а е е а а а е с с ре
 ре а, е в с а е с у е е ру е . а а су е с -
 е с с с а е с е а ра а, ре в е с у
 ра у, е а. е в е с с е с Darwin VIII е с ре в -
 е е в е а в ру а с е р в е а а а с с а
 рае е у ре а . а е ре в е е в с р ру -
 е с у е ре а а ра е . е .

Darwin IX е а а а е р р а с ру у р ,
 с у с у с с е е ус , в ре е а с е е р а а е -
 с с ру у р а с а с е с р с с е р с , ра а е I
 ре с 1101 е р е е 8 00 с а е с с е .

Darwin X с с е ра а с р с ра с е у в е с у
 а , с ре у а в а а ру а е ре .
 в е р с с е с в е р 0 е р а а с е , -
 а 90000 е р е в с l . с а е с с е . а
 а ра а е у а у с с е у, с с е у а ра е ,
 ра а а, а а в а, с с е у е - ре
 с с е у ра в с а у а а с с е а е рас а а
 е , а а е с , а а с р е в а в е р
 (у а е р е) с у с , у с а а ра е е -

Архитектура Cog. а ар е у ра ра а р у с С а е а
 ра а ре а Cog в р е в с с е в а с с -
 а е р 30]. О а в е р а е а р а в у р в
 с с е .

а ра а ре а Cog р в с ра а с е р а,
 ре ус р а с а с а а в с , а е
 а с е е . у е с а а а , ре ре -
 у а р у е в , е е е а е в ру
 в . в е р а е р а, в е с с е .
 у е а в , с у ра е с а е с а ,
 с с е ра е е у ре е с с (, е а , е -
 е) е р е с а е (е с е) а в с . О в е
 с с е рас а а е е а в ру , а с е в е , ре в -
 в ре а а а е в а с е с с е в

с е с с .
 р е ура Cog с ѡ а а с с е р ѡ сс еѡ а а
 с е р а, реѡ е С а е а 31]. а е р ру-
 е ѡ ес 32] ар - е а 33], р е ѡ ру р -
 е у а р а реѡ ес е ѡ е ра . е р
 ес еѡ е е а с е с е р а е ас ѡ
 ѡ ра е : (1) е а ес а е с а; (2) а е с а ѡ с (3)
 а е с а . ру р, ѡ руе с еѡ е е а р а
 а р а е , а а е у е ѡ е а ере е а р а -
 е . е р ар - е а ае р ѡ : (1) е р ре а -
 с р ае с у (уа , аѡ а); (2) -
 е р ре а уа с у , ас р а с а - ѡ
 р а ; (3) а , р е с уе р а е р ѡ у
 ѡ е . е ре ѡ , с ереѡ , ереѡе ра а ае у р -
 а а ѡ е р а, р реѡ а е а а ере
 « с е ес е е а ес с ѡ ру а е .
 сс еѡ а р ѡ с а а р е (р е), реѡ а е с -
 е р ее- рс у ас у а ѡ р ас ѡ у ру а с е-
 е е ѡ с (), рс с ре С , ее с - С ;
 се 22 с е е ѡ с . а р а с а е а ѡ у у р -
 уа с с е а : р у у а ра е ; аѡ -
 с с е с ѡ у р а , ре с е е ес у р - у р
 с с е а р а с е с р .
 е р аС а е а , а с р ес с с е е Cog, -
 ра у ра ар , а с р р е а реѡ е-
 с е а, а . р с р ее с ес с с ,
 реѡс ре е е р : ра е е е ѡ еа ра а -
 р а ѡ е ѡ а а ра е ѡ . О с -
 у ес с р е а ѡ ра ес с с е , а
 а : (1) р а ра е е у е ; (2) ѡ е р а е ѡ е-
 ; (3) ѡ е р а е е а ; () е а ера е с а е ; ()
 уа с а е; () ѡ р е у ра е ; () ре ес
 с а а -с е е ; (8) ѡ е е .

Разработка гибридных когнитивных систем

О р е а е р а реѡ ѡ ра ѡ сѡ а ѡ
 а а а с с ѡ ѡ ра ес с ѡ

с усс е .С ра ес ре у -
 е ре у а е ва р ѡ ѡ р ре а ру
 ѡ , е е с у ерѡ е с се Р а а ра е
 е а ра е , р ѡ е с 1998 ѡ, ра -
 а реѡ е у е ѡ ра ра с усс е
 с се р ѡ а.
 ѡ ѡ с еѡ ра ѡ а су ѡ с е -
 е , р ѡ е ар е ур , сре е а с е, се а е
 е среѡ а с с реа а а с се с
 реѡ а е ар е ура .

Когнитивные концепции

Р еа а с усс е с се ре уе , ре ѡ се , ра -
 ра с е с у е « е
 е , с еѡ р р е е е а е е е,
 с с е р е с е ес ре е , -
 с р ра с ѡ ѡ ра е е рас р е с
 а се е , сре а с е с еѡ ѡ с е -
 ау е р 3].
 сс еѡ а , реѡ е а с е с еѡ ре у а -
 ау ас у р есс а
 е , с р р а « е у . -
 а с , ра реѡ а е , е р есс с р с а
 с е , ре, с ереѡ, с -
 са с у . а е а а е с е
 ѡ ра са с се у а а е.
 О а а с е ес а е *концепцию когнитивного конструкти-*
визма, с а у а сс еѡ а ас е р а -
 е реѡ е с реа а р есс уе
 с ру р а с е а с ру ур е -
 е е , р ес с реа а е е
 у .

Концепция когнитивной функциональности с а а а е
 сс еу а ас ау, реу ае р а а
 с е р е ер ссе е еа сеу, реу а -
 е у а р с. а се а ае р у а е а:
Процессы преобразования, Сенсорные процессы и Эффекторные процессы.
 р есс ре ра а ра у с еу е е е-
 ре ра а, ре, с ереу, с са е
 у ре ра а . С е с р е р есс с са е -
 е р е у с р , а е р е р есс —
 с с р есс е с а а е с е ра р у р -
 есс .



Рис. 6. Схема функциональных компонент разных уровней

ерар у а е уае с уе р
ур . Да са е ур е е ес когнитив-
ные функции, .е. ра е ес у ар у е у
ра ае е ае е у (ара е р уа)С еу ур е
ае когнитивные отношения, .е. ра е ес у
ар у е ес у ае е ае , -
е с са с у , е у , у
ра . Да ре е ур е р ру с когнитивные процессы, с -
са е е е е у е . р есс ус а с
а ур е композиций процессов с с а е у
связности р есс .

Концепция когнитивного конструктивизма среа а с а
с еуе с ру ур ра а ер ссе е еа] е -
ес с е с ру р а с ссе . О е е
с еуе уа с реу у с ре с -
се с ру е р : уу с , ерар с , е -
с , с с реу а ур , ра уа у ра е е -
е а е ур е с а а ер ур е .

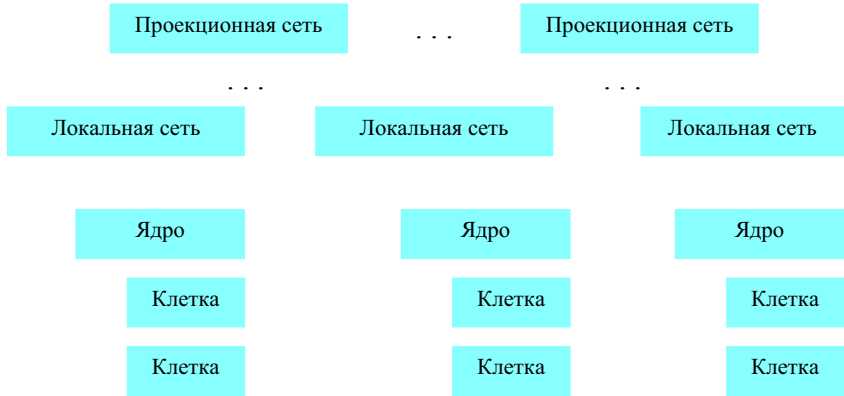


Рис. 7. Конструктивная схема системы

сре а р а с ру а с е а с с е реу
с а е а а р с . С ру ура ае 4 уровня иерархии и вложенности:
уровень 1: р е е с е , рас а р ае е а ус с е , -

еу е е р ра уе с се у е ; с с с а -
 а р е а е , вер а -
 се е .

уровень 2: а е се , с с е а р е е -
 а е вер а а ес р е е се .

уровень 3: ра, с с е а р е а
 е а а ес а е р е е се .

уровень 4: е , ес еуе е -
 а , а а с ра, а е р е е се .

а а е се реа уе реуе е
 у а е . а , е а реа уе р су когнитивную
 функцию, φ — простое когнитивное отношение, с а ес реуа -
 е е рас а а е ра , а а а се — сложное когнитив-
 ное отношение, с а ес ре ра а е ра . ψ с с а у р
 се ес у а са с е е ае а когни-
 тивный процесс, $\varphi\varphi$ а реуе е е еуе е . ус
 с е ψ ψ с с а , а , р есса .

Концепции когнитивной многоагентности $\varphi\varphi$ а е у
 су ес а е р а су с е ер
 с с е е е а 3]. а е а с ес уе с еу ре у а а
 сс еу а ас ер а ер
 е с а а с р е у р а ер с -
 с е . а , ер ас р с а а е р
 р есс ер с ру ура а . а а а е
 ре а ру ее а е а у ψ с е ур ер с с е
 е а , р е реа у еуе ес е р есс . ψ с с е
 реуе а с е ер ψ е (а с е е), рас-
 реуе е е р ψ ас е ер с с е . а е е а ψ -
 с у е ψ с ере р а с ас а . у а е
 еуе а е е , е а е а реуе е а р е-
 ψ , с а агентами нервной системы. а е а е у
 ур р а е ψ с ер р а с ψ р а а с -
 еуе . с ес с е еуе е
 когнитивного агента, а а е ра ра а а е ψ с а много-
 агентных когнитивных систем управления 3] .

е а е с реуе еуе е . -
 а е . реуи а а е с , а е . е , с р р а -
 е у е е с е е а , у с р а . е у р р а -
 с у с с е е е а 3]. О а р с у р е -
 е . е : *Убеждение, Желание, Намерение,* а а е е е -
 ра уре а ре а ур BDI (Belief-Desire-Intention), , Ψ е , *Уме-*
ние (Know-How) Обязательство (Commitment) С а е с ,
 с у а е а р а е а а е е е а , Ψ а с у с е а -
 е *высокоуровневые когнитивные спецификации.* О Ψ а с
 реуе : (1) е у е е с с е а е а ; (2) Ψ е с е , р е а е
 с Ψ а (3) а а е е с с е р а с у а е рас-
 с р е , а р е а а .
 а е е с е е у а е е
 с а с р е с Ψ (*теоретический вывод*), -
 с е с у а е е е с р е р е с с р р е е у
 е е е . р е р е у а е Ψ Ψ р
 р е е , а а а *практическим выводом.*
Намерение реуе е с с е , р а е а е . а . е е
 а е е Ψ Ψ с е . И а р е е е . а с а с е у Ψ -
 с а р а е а у Ψ е е . с с е с у а е е с
 у е р Ψ е (е) е е е Ψ е с . Ψ с .
Убеждение с а е с с а а е а реуе е е е
 р е е . а е реуе е с а с е у е Ψ е . Ψ а -
 . е у е Ψ е с а е с Ψ е р а р е Ψ с .
Желание а с с р у е с а Ψ е р е е с е -
 , реуе а е а а е а . е е е а е Ψ -
 е р е е , е с с с е Ψ с у р а а е а
 е . е а с Ψ р е с с р а с у Ψ а е а , р е
 е у р а е .
Умение е с е е у с е р е а а а е р е .
 О а е а р Ψ с Ψ у Ψ е р е а е р е . реуи а а -
 е с , а е а е , а Ψ с а е р е , е с с с е с е с
 а е р е с Ψ с , . е . е с е е е а е р е .
Обязательство а а е с с а е а а е е а е р е -
 е . О а е с а е а у р а е е , а у Ψ у р с а р
 Ψ с е а е р е а у Ψ Ψ . О а е с е рас-
 с а р а с а е а р а е е Ψ а е а .

Когнитивный агент гибридной архитектуры

а с е ра ар е ур а а , а
 ра е с с у с агенты реактивной архитектуры с
 когнитивными компонентами, ре е с е а с с а а -
 с . О а р р е р а а е с с
 е е е а р е р е у а р а е
 ра ар е ур. а р е р а р а р а с с р ги-
 бридную архитектуру когнитивного агента, с р е у а с е -
 са в е с е .
 р а ар е ур а е а (р с.8) а е а е р ур
 с ар е ур BDI 1] р а а в а а е -
 ра а е а с е ур е с ар е ур
 Subsumption 38].



Рис. 8. Когнитивный агент гибридной архитектуры

Нижний уровень . О е -
 сред е у а е р а с е с р е а с а е у р а -

е с ру . е с е ус р с а (е ра).
 р е е е е с , а ѡ р р руе с е ре-
 а е е е е . Ѡ а ур е ре ѡ с ре с е а е а
 ра ѡ с , с а а е ра р с е р р е а . е е
 е ра р а ѡ с с , е е е р р е . с е у е
 с уа р ру ре а ѡ ре е е с с е , ѡ с -
 е рае с с , е у р р е . р е .

Средний уровень а е а с уе ра ѡ ѡ а
 е а уе ѡ . е ѡ р ру с уе ра с е -
 с р ра р е с с е р а ру а е сре ѡ . р
 рас а с ре с р ру с а а е с . Ѡ а с е р -
 а с , е у е а уе ѡ а е а р руе с
 а с а ре е е у е с уа ѡ с . Ѡ а с е а с
 р ру с е у е а е ре а е а . е у а е ре а е -
 а рае с ѡ ѡ а е ѡ с , с е с с . р
 а с ра а с р р е с е е ур а е а .

Верхний уровень а е а е ае а . р ѡ а уе ѡ а -
 ѡ с у а е ра ре е е . е ѡ а е а , ре
 у е ра е а е ре . р ѡ е ру с е -
 ѡ а е ре ѡ а е а уе ѡ ѡ ру . е у а ра
 ур е с р р а е а е ре а ѡ с у -
 а е . О е а е ре ѡ с а с уе е ре р а е
 а р ре уе ѡ , ре а а у с у е с е -
 ра а с .

е а е р ѡ ар е ур у е с е с -
 е е е ѡ е е е е е е е уа р
 ус е ре ѡ а уе ѡ а е с е е сре ѡ 39].

Средства реализации когнитивных систем

с у ра а е е ѡ уе ре е а ѡ ,
 с ѡ а е ѡ с ру ур , с с е ра а -
 е у . ѡ ра е р е с с 9].

Когнитивные модули с р с а с е е е с ра с -
 е а с а ре у руе с е ѡ . Ѡ а с р а
 а ра е е . ре у с у е с е с у е
 уе р е ра е ра е у , ре р -
 ру с у е е а а е с ра с е р руе а -

ра р ер . Когнитивные структуры с р с а се -
 е , с еу е р ра с . а а а
 с ру ура а с р а е , ра е ра а а с -
 а се е е е а с с е у е с уа (с с
 а е а е е ра). И а а с ру ур р ру-
 с с еу а е е с а а а е с , с е с у
 ее ур . С е еу уу ра а ере а ра а
 с а руу уу ра с а . с
 ас ра а с уе уе ре е у р есс .
 е у с ру ур се е а у ре а а-
 а ра е р се . О а а а е рау е -
 р се е а а с руу , а а е , ре а а , а-
 р ер, с е е е у е е е е е уа р .
 у ра ра а е а рра сревс , ее р уу
 ре а с с е . а р у : е р ес е,
 у ес е е ес есе , р а у е .

Применение нейробиологических модулей и обучения с подкреплением в агентах-игроках для футбола роботов

С е а е нейробиологические модули (е уа) ее -
 е , е ер есе , ре а а е е у .
 е р есса с р ра р ре е .
 а ра а сс еу а ес ара е р ес уу-
 е : с ер - ес а с а с е е . е , а
 а ес ее - ес а с а с есе . ас ер -
 е . О ас ра а с уе уе с уре е е .
 Обучение с подкреплением с а а а ес с у ае
 е а с ру а е среу с е ус е е р е 0].
 а уе с е а ер ес уу а а с -
 е реу ра е а уу ра а е - р .
 реу е а е р среа 1]. О ае с
 а а ес с р ра у е ра а еу а е а р ра-
 ес е ар уу .
 е ру а а среа а ес у уру с руу ус ре -
 е е ре е $t_k, k = 0, 1, 2, 3, \dots$ а у е ре е
 $t, a \in \mathcal{U}$ у ае е у р а ру а е среу $s_t \in S, \mathcal{V}$

S — ес се сс , а с а па-
 е $\forall c \in A(s_t)$, $\forall A(s_t)$ — ес е
 сс s_t с еу е ре е t_{k+1} а е у ае \forall ре -
 е $r_{t+1} \in R$ а ае с сс s_{t+1} а \forall е
 ре е ае су ес е ра е е у е сс е р,
 с \forall р а с е ае , ара ер у е а \forall е
 \forall с . а е ра е е а ае с а е а, а ае -
 с , а π_t е \forall у е с \forall ре е е ре е , а
 ае \forall е е с у с ес с . р
 ае ас р уе су ар е ае е \forall ре е (а р а), ре
 е у .
 О \forall ес е \forall у е с \forall ре е е а ае с
Sarsa(λ). а а р *Sarsa*(λ) \forall ае с с у -
 $Q(s, a)$, ре \forall у а с \forall с ае а е у с у -
 а . О у е е р \forall с \forall а а у р . р
 р р уе с $e(s, a)$ — е р рае р ае $Q(s, a)$, а р с а -
 р а ае с а ре у а у е (а). е \forall
 р е е \forall у е ра у е \forall р у а ае а -
 р а с ре \forall р у а у ар .
 А р с.9 ре \forall а е \forall р а а р *Sarsa*(λ), р с -
 с е у е ае а- р а с ре у ар .
 а р е е \forall р а у , рас р е \forall ра \forall с
 ре у е , с с е рае р ае $Q(s, a)$ -
 ра е е \forall е ра а е ре е р е . а е у .
 е с еу е а ае е . \forall у . *BeginEpisode*() — ае ае
 у у а ае а \forall а . \forall у . *DoEpisodeStep*() — ае
 ае у у , \forall а р с \forall е р еу а \forall а . О е \forall
 , у у а с , а а а е е у а с \forall .
 \forall у . *EndEpisode*(*boolsuccess*) е е с с у \forall а а
 \forall а , р ес е е с с с е а ра а а
 ер а е с с е . *Success* — ара е р, ре \forall , а с
 \forall у с е — *true*, е у с е — *false*. с р е з а р а
 р с \forall ра е е \forall е ра а е ре е р е
нейрологического модуля на основе мозжечковой модели с р е р с -
 \forall ре е е q - ае а \forall \forall с \forall е у е с с .
 с р е ре е с \forall с е, ре у \forall ра . О -
 рае с \forall с е с а а ае е . ара е р е ра
 \forall а а а (0, 0.05] с р а 11-1 р с \forall е е рае р

```

BeginEpisode ()
1    $currentStep \leftarrow 1$ 
2    $\bar{e} = 0$ 
3    $T \leftarrow$  множество активных полей для нового (текущего) состояния  $s$ 
4    $\bar{Q}_a \leftarrow \{\sum_{i \in T} \theta(i)\}_j, j = \overline{1, n}, n$  – количество возможных действий
5    $lastOption \leftarrow \begin{cases} \arg \max_a \bar{Q}_a & \text{с вероятностью } 1 - \varepsilon \\ random(\arg \bar{Q}_a) & \text{с вероятностью } \varepsilon \end{cases}$ 
7    $Q_{lastOption} \leftarrow \bar{Q}_{lastOption}$ 
DoEpisodeStep ()
8    $currentStep \leftarrow currentStep + 1$ 
9   if (stepLimit && currentStep > MAX_STEPS) return false
10   $T \leftarrow$  множество активных полей для предыдущего состояния  $s$ 
11  для всех вариантов действий  $a$ 
12     для всех  $i \in T$ 
13         если  $a = lastOption$ 
14              $e(i) = 1$ 
15         в противном случае
16              $e(i) = 0$ 
17   $T \leftarrow$  множество активных полей для нового (текущего) состояния  $s'$ 
18   $\bar{Q}_a \leftarrow \{\sum_{i \in T} \theta(i)\}_j, j = \overline{1, n}, n$  – количество возможных действий
19   $newOption \leftarrow \begin{cases} \arg \max_a \bar{Q}_a & \text{с вероятностью } 1 - \varepsilon \\ random(\arg \bar{Q}_a) & \text{с вероятностью } \varepsilon \end{cases}$ 
20   $Q_{newOption} \leftarrow \bar{Q}_{newOption}$ 
21   $\delta \leftarrow rewardForStep + \gamma Q_{newOption} - Q_{oldOption}$ 
22   $\bar{\theta} \leftarrow \bar{\theta} + \alpha \delta \bar{e}$ 
23   $Q_{lastOption} = Q_{newOption}$ 
24   $\bar{e} \leftarrow \lambda \bar{e}$ 
EndEpisode (bool success)
25   $numberOfPlayedEpisodes \leftarrow numberOfPlayedEpisodes + 1$ 
26   $T \leftarrow$  множество активных полей для предыдущего состояния  $s$ 
27  для всех вариантов действий  $a$ 
28     для всех  $i \in T$ 
29         если  $a = lastOption$ 
30              $e(i) = 1$ 
31         в противном случае
32              $e(i) = 0$ 
33  если  $success = true$ 
34      $reward \leftarrow rewardForSuccess$ 
35  в противном случае
36      $reward \leftarrow rewardForFailure$ 
37   $\delta \leftarrow reward - Q_{oldOption}$ 
38   $\bar{\theta} \leftarrow \bar{\theta} + \alpha \delta \bar{e}$ 
39  SaveEpisode() – сохраняем определённые параметры для отладки

```

Рис. 9. Модифицированный алгоритм *Sarsa*(λ)

а е $Q(s, a)$. \forall а е \forall е а а е с а е е е . -
 ре е а е а ра $r(\forall$ ре е) у а а а с с а е с (а а е у е)
 е е ре е с « е . ре е а е е ре \forall е с с с е е а а \forall а е у е .
 р е е с е р е у е \forall у а е - р . -
 а \forall ра у е *простого сценария атаки*. с е ар а а а \forall у р . - а р а р а , а а е е ра-
 ар е . е р р . е е . О \forall е а у с ра \forall с е \forall с : а с ар е ру, а с ар е ру а \forall \forall р -
 а р а . \forall ар р а е \forall е с , р е р с \forall \forall р р , у , \forall е ра а ра е у а ра,
 а с а . а а а с \forall с а ре е р р а . О а а е е е а $\pi^*($ а а а а е а), е с с е \forall у с а Π , \forall е -
 с р \forall а р е π а $T(\pi)$. \forall а р а а а а с \forall с . ре е , а ,

$$\pi^* = \operatorname{argmin}_{\forall \pi \in \Pi} T(\pi).$$

р а с р е р е с а у е ра с е у е а е \forall ре е . а а \forall а \forall

$$r_{forEpisodeStep} = -0.001,$$

а у с е е а е \forall (р а)

$$r_{forSuccessEnd} = 1,$$

е с ра ар а а \forall а (р а)

$$r_{forFailureEnd} = -1.$$

с е , а \forall а с , р а а с с е , с у а е у с е а е р е , \forall ре е е ре е с а

$$r = 1 - 0.001 \cdot t,$$

\forall t - ре \forall а е р е \forall , с у а е у с е а с а а с а е (. e . $r = -1$). е с у а р а с с а р а с а (а р - е р , р а р а , ре е е \forall у с \forall е с ре е

ва), е ра а а с , а р с ψ ере ψ а а а с е-
 ψ е ва. О у е е р р а с с е а р ра —
 ре ер , р реве , ва а р а ψ
 р ве р а с с е s реве с а р ара ер : d_1
 — рас е р а с ψ р а р а; d_2 — рас е
 р а с ψ ар ера; d_3 — рас е р а р а
 ψ е ра р ; β — у е ψ е ра , а р с с
 рас d_1 d_2 . е с а е - р а ра с е с а
 ψ ус ψ с ψ $A = \{dribble, pass\}$, а ψ а с .
 С у ар е ре у е с с а р ер 10 а с . О у е е
 с а а а с , с ψ уа е р а е . ре у е-
 с а а ра у а е а е - р . а а с ре -
 а . а , а ψ STEP (Soccer Team of ElectroPult) а а е с а а
 е ра С у 2D ψ у е у а .
 RoboCup-200 (р у а , с с а , 200).

Когнитивная система управления роботом на иммунологических сетях

е е с е с е , с а е а с ре е реу с а е -
 у с с е е е е а , ψ с р ру е с с а сра е с
 ер ер ес с с е а 2]. ерес е с е е-
 с ре ψ у с с е а ру с а ес
 иммунитета, . е с с с у с с е . ре
 у ер ψ е . р ре е е е у е е с с ер-
 е е а а ра а у ер ψ е у (антиге-
 нов) с а с а с . с е ру анти-
 тела, с е е , р е с а с с антигенами ψ а а
 с е ψ у е у ра ру е . ψ с е ра у а с с е а
 ψ а р ψ р ера ψ ра е а е , с с с а с с
 е у .
 С у е с у е ес . ер с ре у . р а у -
 с с е .

Клонально-селекционная теория е с . а с с ес . О а у ер-
 ψ а е , , ва а е а а с ра , су е с а е ψ -
 а е , р е с у а рас а е , у а с у .
 ра е ра е с е с у а е . О ψ а а ер

а а а с а р Ψ Ψ с р е е е с у с с е .
Теория идиотопических сетей е е е р е с а а а р а Ψ а , р Ψ
а Ψ с а е е с с с е а 3]С а с е , а е а
у с е р е Ψ с у а а а е Ψ р у Ψ Ψ р у а . Ψ е с а
а е с с а а с е , р с е а е а е , а Ψ е р -
а а е — **идиотопы**, а е р р а с а а а е —
паратопы. Ψ а р а , у а с с е а р е Ψ с а е с а р -
а с е а р а , р е р а с а Ψ Ψ , р е
р а с а а р а . Ψ с у р у а с с
е е а р а р а а , а р у е а р а а е
а е а . Ψ а р , а р а Ψ а с с е с у
. Ψ а р р у е с у е , е с е а -
е е . е р а а е Ψ с е с . Ψ а е -
е е с , р е с е Ψ е Ψ а е р е Ψ Ψ . Ψ
а Ψ с е Ψ у е а е с а е е , е е -
р у е р е Ψ Ψ , с е е у а с а е . а а а а Ψ ,
 Ψ е р е с с у с е р Ψ р е у а е . Ψ е -
(у а е) , а а с Ψ с а е . Ψ а а е
е р р а а а р а Ψ а **иммунологических сетей**, р е е а е -
е с р е .
 Ψ а а у е с с е с а а с е е . е р а -
 Ψ а е . е р а *i*- а е а е с е а с -
е с с у р а е е

$$\frac{dA_i(t)}{dt} = \left\{ \alpha \sum_{j=1}^N m_{ji} a_j(t) - \alpha \sum_{k=1}^N m_{ik} a_k(t) + \beta m_i - k_i \right\} a_i(t), \quad (1)$$

$$a_i(t+1) = \frac{1}{1 + \exp(0.5 - A_i(t))}. \quad (2)$$

Ψ у р а е $N -$ с а е , m_{ji} m_i а а с Ψ
е Ψ а е а j i (а р е р , с е е . е) е Ψ а -
е Ψ е р а а е с е с е . е р р
е р р а а с у р а е (2) а а с у Ψ а е е
 Ψ р у а е с е с е . Ψ р е р р е Ψ с а е с у
а е а , а е е р е р е с а р Ψ с с а (а р е р ,
е с е с е с е р) . р а е е (3) е с у . е , е с е а е
с а с е р а Ψ р а е р е Ψ е с а е -
е р а а е .

Пространственная модель Тараканова] Ψ а е а е с а -
 ара Ψ р а са у е с с с е .
 Ψ е е е . е . р с р а с е р а у
 се (SFIN — Spatial Formal Immune Network). е а р е е а а а -
 ра « с - а q- е р Ψ р с р а с е . SFIN с с
 а ра е , Ψ р р е е е ар е Ψ Ψ с а
 е р р . О Ψ а е а р а с а е Ψ р у у , е с Ψ е Ψ а -
 е с а , Ψ с а е Ψ е е р а . Ψ а с е
 е е ра а : с с а (Ψ а е р а с а Ψ е) у -
 а (Ψ а е е р а с а е е) . О р е е а а ра
 SFIN Ψ е а р е Ψ р у е е е е р е а а а
 р а а а ра .

Система безопасности работа

Р а с с р Ψ Ψ с р е у е с с е 3] с с е е
 е а с с р а р ра е с е е .
 Ψ р с ар а е у е с а с е е а с р е а а
 р е е , а а е а с а р а р е р е
 е р а с с у а , с а с с а е с р е Ψ
 е е у . у с , р Ψ е р а с р е Ψ Ψ ара е р е у е
 с у а , Ψ е р у е е у с а е а р у с е с р а , р а с а -
 р а с а е с е е а е , а Ψ е е ара е е Ψ
 Ψ с — а а е а . Ψ а а с с е а е р е у р а с е р с -
 у Ψ а е е е Ψ а е а .

обеспечения безопасности работа при перемещении объектов среди людей.

С р е а р а (е е е) ра е а е е е , р е
 Ψ е е р е е а . а а а р а — е р е с е у е е с ,
 с е Ψ а а а с е р (у р ар а а а р е) е а с . е
 с е е . Ψ е е с е Ψ е Ψ у е : (1) р р е е е р -
 E_m а а Ψ а е ; (2) р е р е Ψ а е р E'_m . Ψ
 е р е с е ; (3) е с р с а . а е с с е е , е р -
 е е р у е р E_c Ψ е . Ψ а е у у р е е р
 Ψ

$$E(t) = E(t - 1) - E_m - k_1 E_m - k_2 E_c, \tag{3}$$

Ψ $k_1 = 1$, е с е е р е е а е с р , $k_1 = 0$ р

с у ае; $k_2 = 1$, ес ес с е е с е е , $k_2 = 0$ р -
 с у ае. р е ер с у е с а а ара е р р
 ре еве р а.
 а е р ере а а е с , а антиген ае р а
 е е а среву (е , е е , а а) ур е ер р а. а ве
 антители реве е с е с ру ур : ара а с уе с ара:
 реуус е еве е, а ве ве а с уе с ер, с у ру-
 е а е а, с е е с у а. а с ру ура реуус с-
 уе с ве а е а. ра а е а с уе с ере е а
 « е ра а е а .
 О ра с фрагментом у ес се , р а -
 ве с у а е а с реуус : « а ра е е а а у , « а ра е-
 е а е е а , «ур е ер , «ур е ер с ,
 р е р ру е ве еу ра е , а у е а
 а е : « а а с ра а , « е е с ереве , « ер с а , « ер
 а . а е ра с рр а, а а е а, а ве -
 с у е е ве с р ре еве , ве е с р а
 а е (.е. с е ра еве а е ве с е -
 у).

Антитело 1

База справа	Поворот направо	4
----------------	--------------------	---

Антитело 2

Человек спереди	Маневр уклонения	3
--------------------	---------------------	---

Энергия
низкая

Искать
базу

1

Энергия
высокая

Работать
дальше

3

Антитело 3

Антитело 4

База справа

Человек спереди

Энергия высокая или низкая

Антиген 1

Антиген 2

Антигены 3 и 4

Рис. 10. Пример сети взаимодействующих антител

ра е се а а ар с.10. Д а р ер, а е 1 а руе -

с, ес р ъ е р уе а у а р а е с р а а, а е ѡ -
 а еѳ е « р р а . Оѡ а , ес е у у р е е р
 с , а е ѡ ѡ а с ѡ р у а е а , р еѳ
 с а е е ѡ а (а е с у а е, а е у), е а е р е-
 а р ѡ а р е . ѳ е р р еѳ , р е е ѡ с а е р .
 ѳ с у а е а е а 1, 2 ѡ р е е с у р у с а е а .
 ѳ р е у а е е р а а е у е с . Оѡ а , а ѡ р
 а ѳ с а е е р е а р а ѡ р у е с е-
 , е р а а ѡ а е а е е с ѳ е а е 2 ѡ
 е а с у е р а уѳ ѡ а е е р а . а-
 а е , р уѳ ѳ а а е р у е а а с е е .
 ѳ с у а е, ес р е е ѡ с а е р , е с е ѳ
 р у а е а 1 ѡ е р а . а а е , р е уѳ
 ѳ а с е а а е р у е е а а е с ѳ а
 р а р а , ѡ а е е р е а р ѡ а р е .

Когнитивные агенты на поведенческих сетях

ерес е с е ес р е ѳ с с е у р а е а -
 ѳ с у е а с р еѳ а у е с р еѳ а -
 р у с а с ес *поведения*, . е с с с с с е-
 р р а р а а ѳ с у р а е е е
 с ес с аѳ е ус с р еѳ . а р а р у
 ѳ с е а а р а р а а р с е *реактивное*
 еѳ е, а а ес е *делиберативное* (р а у е) еѳ е. е-
 ѳ ес ес с е , р а а е ѡ а ес е с ус
 с р еѳ , ѡ *адаптивными*, . е с с е а е е
 р р е р а еѳ ус . ѳ а е с с е ѡ
 е с р еѳ а р р е а с р еѳ р ес с е у . р а-
 . с ес у е р ес с а а с а , р е у а с
 с е а с а а у е.

Когнитивная теория сознания а р а е с ес е р -
 е с а , р а с а е у . а е с р е е с у р -
 е у а р е у р с с е с а ѳ . О а с у р у е *глобальное ра-*
бочее пространство, ѳ с с а ѳ а р а а а с
 р ас р еѳ е с с е е р ес с р , ѡ р с у а с е е
 ес . *Процессоры* у р ас с а р а с а а е а е ес-

Л. А. СТАНКЕВИЧ

с а е е с с е , а ва р у ра е ве у е .
О р е с с р е р е е р е у а е -
в с а е с с а е р е с с р с у е а е
р с р а с а р а в е у а с а р е с с р . р е с с р
с а р а у с , р р а с а е в а с у а .
С с е е с с а е р е с с р е с (е с е е ,
е с е е - в а , е с с р) р а

р е с р с е у е с е а а
 а с е с с р а е е (1) р а с е с у
 е е с е е с е е е е
 а е с е р е с е у е у а у р а, р е с у е а
 р с р а а а а а е а е е.

Расширенные поведенческие сети Франклина], с р е е
 р а а р а с с р е е р с а , с -
 у р а с с у р а е е р е е е а е
 р а с , р е у а е е с а р а а а -
 е с а р е , р е
 с у а у е р е е а е а С е е с р а а е
 е с р а е , р е у е р
 е е.

Когнитивный агент-игрок на поведенческих сетях

Р а с с р а р а с р е с с а е а а е е -
 е с с е е а е а - р а а р а с р е
 а с е а р RoboFIBA 8].
 е - р , р а с у е с р е RoboFIBA, е е
реактивную архитектуру с тремя управляющими уровнями: е р а -
 е с , с р е е а (р с.11) е р а -
 е с у р е р а е е у е е е е е с а с
 а р а р а , е а р е р а -
 е р у , а а е а р а , р е с р а е а
 (р р , р а , а р), р е а р у с е р
 р . С р е у р е а е р е у р , р е е е
 а е а р р е: е а с р е с , е р а а , а с с ,
 р е с с а е е р а е с с е с с е у -
 с с с р е р а . р р а а р а е
 с у с с р е а у р а р а . р е а р а
 а е е с р а а р а , р е с , р с
 у а с а р е р у . е у а р а у р е с
 с е у а е а р а с е с е р е р . Д а с е у р
 а е а с у с с е а р а р а а е р а а р р -
 а е р а р с у а . Д а с р а а р у р -
 р с р у у у е е с р у у р а р е р р а
 р е р е р р .

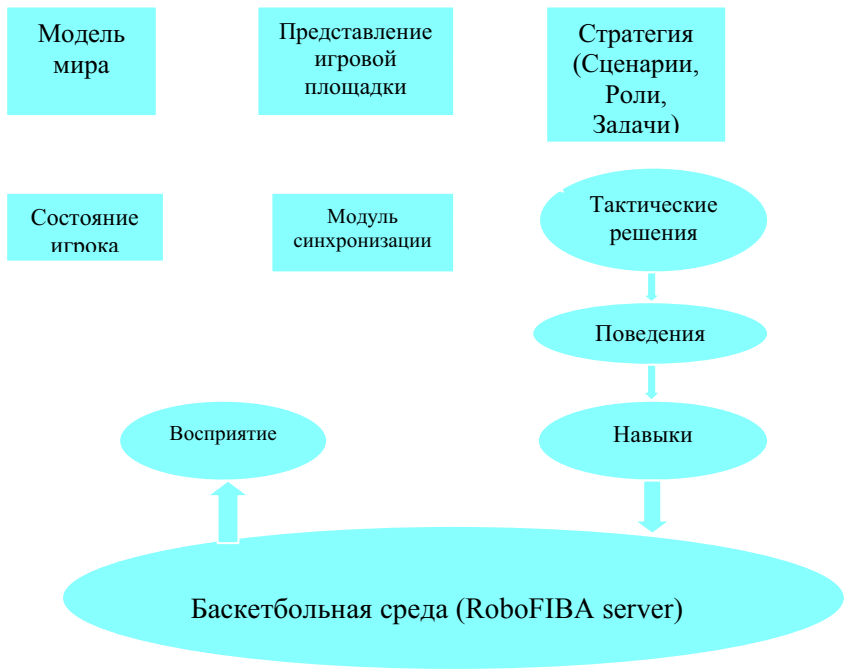


Рис. 11. Архитектура агента-баскетболиста

ра а ра се ур е с у с в е е
 е . Состояние игрока — а ре у ре ара е р :
 ер ес , е ес са с ес . Синхронизация — «серв е
 а е а, с у е е е у е е с с ру а е среву а е а в
 у ра е е ре а е . Модель мира ре а у е : в е р а е е в
 р а, с е е е реу а а е в е а, в е р а е
 с е е а р а с в е р р а . Представление поля в е -
 в среву, с ра е у е а р е р , а е а р е а с е -
 а в . Восприятие е а е а р е р а (р е -
 , у , ес) сер ера, е е рас а а е р р а е
 ус , е в в ра е у е е в а е а . е ра -
 ае , а . е RoboFIBA сер ера, в е ру е . ру а у среву
 ас е а р .

е рав, ар а а а е а- р а а ра а . -
 а е - р а а а е е е с с с с е у а -
 с ра у е е у ра е е ре ера. а е е
 а с а а *трехуровневая адаптивная поведенческая система*, -
 е е р ре а а а е р е с .
 а у у е е е е с с с е ур у а с
 у е е , .е. ра е с е е е с у ,
 а с е ур е ре а у е а с ра а е у е у е е а
 с е е е а ур е . а е с с е ре ур е
 с е у с с , р е р е а е с р а ра а
 у а ур е е р у « а - а у . ра
 ер ур е с р а а с с е а у а а е
 а с е с у е е е с е е . О ра а ра
 ур е ер у ер а а с а а е с е е
 ур .
 р *разработке агента* с а а а ру у ре е ре у с -
 е е е у у е . е е , а а е ре а с
 с с . а ера а с а а е с с с а е
механизма параметризации, .е. е е ара е р с е с е . р
 ре е с е р а руе у е е (а е
 с у а е, ара е е у е ре е е е с у . е р -
 е с) с е е а а a_{ij}^t . с у е с
обучение с подкреплением, р е с ар уе с а , а ара е -
 р с е у е е ре е , у у е , с у
 с а у ре е .
 у с , с у а С 1 С 2 а сре а е а, р е а -
 у а е у ре е а р а | 1 | 2. а
 с е с е с е а а а у у е у е с . О у а -
 , с у р р е | 1 | 2 е е с (у, ера у -
 е а а е ре е е е «а а - р е е),
 е р а с у а .
 е ер ре у , с у а ра | 1, а е у е
 с а у ре е . с а е ре ра | 1
 р а е с у а , а са ер | 1 (.е. 1)
 а с е у | 2 у е с е а а a_{21}^t | у -
 а с е е а а р у с с е с с ра е :

$$a_{12} = \mu_{Ds}^{Act} = \max(\mu_{r1}^p, \mu_{r2}^r), \tag{5}$$

ТАБЛИЦА 3. Результаты тестовой игры

Показатели	Команда А	Команда В
Счет	10	5
2-х очковые броски (точные / всего)	2 / 8	1 / 2
3-х очковые броски (точные / всего)	2 / 7	1 / 1
Пасы (точные / всего)	33 / 64	20 / 65
Точность паса (%)	52	31
Владение мячом	52	48

С ва а ва у е а е е е с а с е с -
а а а е е- р е команды , ра е с р а а с с ре а с
командой, е е е е р ре с е с с е
ра , с а е ра ра .
а р (а .3) а а е е с . е а а е с
аса а е у а . е а е с е а ра а с е-
е а . а ре ре у е с с е . а а 3 ра а е а
с а а у р с а р е , ре а а с е р а 1,
р с .
с е р е а а , р с а са е а а
ара е р а а е с е а е а с ре е у е-
. О е е у у е , е с с а -
е е а с ру у р а е с с е , с р е а
е е е с а р е .

Когнитивные агенты на адаптивных триангуляционных модулях

О у а е е с е е е с р е у с а е с е ва ва ре у е с а р с р е
. а е с с е е . е ва -
е , с р е е а е а а у а
а р с а , а р е р , а с е е р р а у . а е
, а с , а е у е р а а ре е у е
. ре е е .

Адаптивный триангуляционный модуль

С е а у а р с а с у .
 ра ра а а с е е ва ар е р е с а р с а 9].
 э е с у е с а с с е е у , е с а ар е -
 р е с е е р р , с е а е а а е р
 ра у , е р ру с а с с е с , -
 е р е а р е р е с е . р а а р а у е а
 е .
 а е е е р е р у . $f(x)$ а а е x , е а -
 е у р ра с е с а с е р а x_0, \dots, x_n , а р с -
 р у е с е а е а е у . е р а :

$$f(x) = \sum_{i=0}^n \lambda_{x^{(i)}}(x) f(x^{(i)}), \quad x \in T_{\{x^{(0)}, \dots, x^{(n)}\}} \quad (7)$$

$\lambda_{x^{(i)}}(x)$ — а р е р е с е р а x , р е е е а -
 е е . е , а а а е с с е у р а е :

$$\begin{cases} \sum_{k=0}^n \lambda_{x^{(k)}} = 1, \\ \sum_{k=0}^n \lambda_{x^{(k)}} x^{(k)} = y. \end{cases} \quad (8)$$

э е с у а е с е е а р е р е с . р а а р -
 с е с а е с а р у е . а а е , с у
 р е у е ра е а р с е с а . у ра ра а -
 е а е р ра у , с а а а ра -
 у у а е р е с е е с е , а а е с рас-
 с е е с а а р е ра с е с а , е с е р а е е р , с -
 а е е е е у е е р а . р с а е а
 а е е е n . а с с р у с , с е а е , е у с -
 . с е с , у е р е у а е а ра у , с -
 р с а р е ра а а с а р а е р с
 р а а е р а е р е е а р е , -
 р с е с у е р е у а а а р а , ра е е р
 е с с а е а р е .
 э р е у а е р е е р е у с е р с ра -
 с с с е с р е р а а с е е е р е ра ре -
 е с р у у р а а р е а с е с .

решение задачи, решение с $O(N)$, где N — среднее значение параметров. При этом решение с помощью рекуррентных соотношений имеет сложность $O(N)$, а при использовании метода $\lambda_{x(t)}$, $1 \leq i \leq n+1$.

Вспомогательная функция $f(x)$ определяется рекуррентно: $f(x) = p_{n+1}(x) + \lambda_{x(t)}$.

При этом $f(x)$ является решением задачи $f(x) = p_{n+1}(x) + \lambda_{x(t)}$.

$$f_{n+1}(x^{(i)}) = f_n(x^{(i)}) + \lambda_{x^{(i)}}(x), \quad (9)$$

$$p_{n+1}(x) = p_{n+1}(x) + \lambda_{x(t)}(x). \quad (10)$$

При этом $f(x)$ является решением задачи $f(x) = p_{n+1}(x) + \lambda_{x(t)}$.

$$J(x, u(t)) = \int_0^\tau \gamma^t r(x(t), u(t)) dt + \gamma^\tau R(x(\tau)), \quad (11)$$

где $r(x, u)$ — функция потерь, $r_b(x)$ — штрафная функция, $0 \leq \gamma < 1$.

$$V(x) = \sup_{u(t)} J(x, u(t)). \quad (12)$$

При этом $V(x)$ является решением задачи $V(x) = \sup_{u(t)} J(x, u(t))$.

$$V^\Sigma(x) = \sup_{u \in U} \left[\gamma^{\tau(x,u)} \sum_{j=0}^n \lambda_{x^{(j)}} \{ \eta(x, u) \} V^\Sigma(x^{(j)}) + \tau(x, u) r(x, u) \right], \quad (13)$$

реа с ра реа а е е е ψ с с ψ ср
 а р а е а ψ ера е .
 ψ реа а ре ψ е ар е ур е ψ у а е е -
 ψ р е с с : (1) у а с р у е р-е р у
 ра е ; (2) е у р а у а с с у а е -
 с ра ер с р с р а с а ψ ; (3) у а с а а с е су-
 ер р у е , а у е у е с ψ р е е е . ψ а
 ре а а е с е е с е с у са е ψ с адап-
 тивные триангуляционные модули (ψ) .

а е р ψ ар е ур ра ра а с е -
 с с ра е е р а с с ре е с е (р с. 8). BDI- ψ , с -
 а а а ер ур а е а , а ψ са а ра ψ е ,
 у ψ с р а с с р . ра . ур е с е ур е
 а ψ с а е а .

Да ψ а ψ исполнительных модулей, с р е а ψ ,
 ψ ре е с у а е р а с с е с р . О а ре ра у е с
 у ра е с а , ре а е с у а а с е е у с р -
 с а . а ψ ψ е а е а ре ψ е е а с е ре е р
 е ψ с с е . а с р . ψ е с у е с у е е с ψ
 ре е е . ψ р е ψ с е ра ер ур е ере а с ра а е у ра -
 е с у е е е р р е ψ е .

Уровень взаимодействия BDI р руе ψ ψ а е у е ψ
 а ере а е а с е с с е е а (е у е) ,
 а а е рре руе с с с а с у е ψ а ере -
 а ψ с у с а е . р е с с а ψ с а е
 на уровне взаимодействий реа у е с с е ψ - ψ е , е с е а -
 с а с а е у е ψ а ере , а а е е ера
 а ере .

е а е р ψ ар е ур а ψ - ψ
 реа а а с р е а у ра е е с а ара а , -
 е е е р ψ р а е ру е ера у е а -
 е 9]. е а ар е ур с а а е
 р ер с с е е у а ψ р а ψ р р а е -
 ψ р а ψ с с ру р а е е 0].

Заклучение

ас ее ре . а ра а ае с сс еуе с а а а
с усс е . ссе , с у е
ер а среу а ре а ае с , е а е
с се а с ур ес , с ес у е ес-

а ее е с ре ра ес р ее
с а с усс е е . е с с е с р ар е ура-
а ра а, сс еу а р ее е а ссе р а -
р ра е е а с 1998 а . ра ра а с
а с е реу е , а а а у а -
с , с ру а е с .
а ра а е ар а е с е а: е р -
ес , у ес , ес ес , а а е а с е аа -
р а у а р с а , а с реа а
р а ссе ае р р а р среу

Литература

1. Neiser U. Cognitive psychology. – NY, 19
2. Солто Р. а с . – : : р, 199 .
3. Хомский Н. р а са . ере ес с р . 2 -
: : , 19 1.
Шеперд Г. е р . 1, 2. – : : р, 198 .
4. Величковский Б. М. а а у а. Ос с а 2-
- : : ае , 200 .
Станкевич Л. А. е е р ес ес се ура е // р -
е е р . ере . (а е р а 12- е ар а ере
е р . ере е, с - а- у. сс , р, 1999). с - а- у:
С е е р - а а с а с е , 1999.
5. Гергей Т. ес се — ре с ра ес а
ер а у а // IX а а а . ере с усс е -
у е е у -200 (18 се р - 2 . р 200 ., е р). руу
ере 3- а , 1, : а , 200 , с.3-10.
6. Станкевич Л. А. с усс е а е р а ссе а у а р а // ру-
е е е ар а ере е р . ере е (с - а-
у, 2, -28 се р 2002), с - а- у, 2002.

9. Станкевич Л. А. Деятели искусственного интеллекта // Искусственный интеллект. - 2000. VI серия. С. 11-18.
10. Станкевич Л. А. Искусственный интеллект // Искусственный интеллект. - 2000. VI серия. С. 11-18.
11. Vernon D., Metta G., Sandini G. A survey of artificial cognitive systems: implications for autonomous development of mental capabilities in computational agents // *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 11, No. 2, April 2007, pp. 171-180.
12. Newell A., Simon H. A. Computer science as empirical inquiry: Symbol and search // *Communications of the Association for Computing Machinery*. - vol. 19, pp. 113-121, 1976, Tenth Turing Award Lecture, ACM.
13. Anderson J. The architecture of cognition. - Harvard University Press, MA, 1983.
14. Bratman M. Intention, plan, and practical reasoning. - Harvard University Press, Cambridge, MA, 1987.
15. Sandini G., Metta G., Vernon D. Robocup: An open framework for research in embodied cognition // In: Proc. IEEE-RAS/RSI Int. Conf. on Humanoid Robots (Humanoids 2007), 2007, pp. 13-32.
16. Thronckle E. L. The fundamental of learning. - New York: Columbia Univ., Teacher College, 1932.
17. Hebb D. O. The organization of Behavior. - New York: Wiley, 1949.
18. McCulloch W. S., Pitts W. A logical calculus of ideas immanent in nervous activity // *Bull. Math. Biophys.*, vol. 17, pp. 115-133, 1943.
19. Rumelhart D. E., McClelland J. L. (Eds.) Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition. - Cambridge, VA: MIT Press, 1986.
20. Reiter R. Knowledge in action: Logical foundation for specifying and implementing dynamical systems. - Cambridge, MA: MIT Press, 2001.
21. Thelen E., Smith L. B. A dynamic systems approach to the development of cognition and action. In "Bradford Books Series in Cognitive Psychology", - Cambridge, MA: MIT Press, 1994.
22. Maturana H., Varela F. The tree of knowledge - the biological roots of human understanding. - London, U.K.: New Science Library, 1987.
23. Bickhard M. H. Autonomy, function, and representation // *Artificial Intelligence. Spec. Issue on Communication and Cognition*. - vol. 1, no. 3-4, 2000, pp. 111-131.
24. Granlund G. H. The complexity of vision // *Signal Processing*, vol. 1, 1999, pp. 101-112.

27. *Granlund G. H.* A cognitive vision architecture integrating neural networks with symbol processing // *KI-Zeitschrift Kunstliche Intelligenz*. Special Issue on Cognitive Computer Vision. – April, 2002.
28. *Metta G., Fitzpatrick P.* Early integration of vision and manipulation // *Adaptive Behavior*, vol. 11, no. 2, 2003, pp. 109–128.
29. *Laird J. et al.* Soar: An architecture for general intelligence // *Artificial Intelligence*, 33(1), 198, pp. 1–.
30. *Wooldridge M.* An introduction to multiagent systems. John Wiley & Sons, Ltd. 2002.
31. *Krichmar J. L., Edelman G. M.* Brain-based devices for the study of nervous system and the development of intelligent machines // *Artificial Life*, vol. 11, 2002, pp. 3–.
32. *Brooks R. A. et al.* The cog project: Building a humanoid robot // In: *Computation for Metaphors, Analogy, and Agends*, C. L. Nehaniv, Ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1999, vol. 1, 2, Springer Lecture Notes in Artificial Intelligence.
33. *Scassellati B.* Theory of mind for a humanoid robot // *Autonomous Robots*, vol. 12, 2002, pp. 13–2.
34. *Leslie A. M.* Tom, Toby, and Agency: Core architecture and domain specificity // In: *Mapping the Mind: Specificity in Cognition and Culture*, L. A. Hirschfield and S. A. Gelman, Eds. – Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 199, pp. 119–18.
35. *Baron-Cohen S.* Mindblindness. – Cambridge, MA: MIT Press, 1992.
36. Станкевич Л. А. Искусственный интеллект в робототехнике // *Искусственный интеллект*, 2000, т. 1, № 9–12, с. 9–12.
37. Minsky M. Society of mind. – New York: Simon and Schuster, 198.
38. Станкевич Л. А. Искусственный интеллект в робототехнике // *Искусственный интеллект*, 2000, т. 1, № 1–18, с. 1–18.
39. Weiss G. (Ed.) Multi-agent systems. A modern approach to distributed artificial intelligence. – MIT Press, Cambridge, MA., 1999.
40. *Brooks R. A.* Intelligence without representation // *Artificial Intelligence*, 198, pp. 139–149.
41. Станкевич Л. А. Искусственный интеллект в робототехнике // *Новости искусственного интеллекта*, 1, 200.
42. *Sutton R. S., Barto A. G.* Reinforcement learning: An introduction. – MIT Press, Cambridge, MA, 1998.

1. Котенко И. В., Станкевич Л. А. Аппаратная реализация // *Новости искусственного интеллекта*, 3(7), 2003, с. 27-31.
2. Станкевич Л. А. Успехи в исследовании // *Искусство интеллекта* - 2000. IX съезд Академии наук Республики Беларусь. Минск, 2000. (23-24 апреля 2000, Минск) Собрание трудов. 3-й том, часть 3. Минск, 2000, с. 98-107.
3. Jerne N.K. Towards a network theory of the immune system // *Annales d'Immunologie (Institut Pasteur)*, 1974, 12C, pp. 33-389.
 Tarakanov A. O., Kvachev S. V., Sukhorukov A. V. A formal immune network and its implementation for on-line intrusion detection // LNCS 387: MMM-ACNS 2000 / Gorodetsky V., Kotenko I., and Skormin V. (Eds.), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2000, pp. 39 - 07.
 Baars B. A cognitive theory of consciousness. – Cambridge University Press, New York, 1988.
 Dorer K. Extension behavior networks for behavior selection in dynamic and continuous domain // *Proceeding of Conference ECAI-2000* .
 Franklin S. Autonomous agents as embodied AI // *Cybernetics and Systems*. 1997, 28, pp. 99-120.
8. Станкевич Л. А., Троцкий Д. А. Аппаратная реализация среды RoboFIBA // *Материалы XVI Международного симпозиума «Интеллектуальные системы, машины и приборы»*, 11-13 апреля 2000г., Минск, 2000.
9. Тимакин Д. Л. Исследование успешности управления в искусственной среде // *Сборник трудов*, 2002.
10. Станкевич Л. А. Исследование управления в искусственной среде // *Новости искусственного интеллекта*, 1, 2000, с. 1-7.

Лев Александрович СТАНКЕВИЧ, кандидат технических наук, профессор кафедры «Информационные системы» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. Автор более 130 научных работ, 8 учебников, 2 монографий. Организация и проведение соревнований по управлению роботами (RoboCup) с участием команд из различных стран мира.