

УДК 681.5+004.8

ЭМОЦИИ И ТЕМПЕРАМЕНТ РОБОТОВ. ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ*

© 2014 г. В. Э. Карпов

Москва, Московский ин-т электроники и математики НИУ ВШЭ

Поступила в редакцию 30.11.13 г., после доработки 06.05.14 г.

Предлагается подход к управлению поведением роботов, основанный на механизме эмоций и темперамента. Продемонстрировано, что эти психологические особенности могут быть смоделированы достаточно простыми способами. В основе предлагаемой эмоциональной архитектуры системы управления роботом лежит Информационная теория эмоций В.П. Симонина, а особенности темперамента сводятся к двухпараметрической модели типа “возбуждение-торможение”. Описан ряд экспериментов, проведенных на базе мобильных роботов. Эти эксперименты демонстрируют набор различных типов поведения роботов: меланхолического, холерического, сангвинического и флегматического. Все эти типы были реализованы с использованием так называемого регулятора темперамента, определяющего баланс между величинами параметров возбуждения и торможения системы управления робота. В работе также предлагается автоматная модель темперамента, позволяющая описывать поведение индивидуума. На основе этой модели показано, что при решении некоторых задач коллективного поведения целесообразно иметь в составе группы индивидуумов с разным поведением, причем это поведение также определяется индивидуальными эмоциями и темпераментом робота.

DOI: 10.7868/S0002338814050096

Введение. Имитация физиологических процессов и феномены высшей нервной деятельности давно находятся в сфере интересов робототехники. Эмоции и темперамент занимают особое место среди этих явлений. Действительно, как эмоции, так и темперамент — это одни из основных механизмов оценок поведения высокоорганизованных организмов. Кроме того, вполне естественен вопрос их применимости к описанию и оценке поведения технических устройств.

Обычно эмоции и другие подобные психические явления — объекты интереса искусственного интеллекта (ИИ) и когнитивных наук. В виде некоторого обобщения мы можем сказать, что ИИ интересуется эмоциями и темпераментом как внутренними процессами. В противоположность ИИ робототехника рассматривает их с точки зрения их внешних проявлений, т.е. выражения эмоций. В любом случае, действительно эмоциональное поведение рассматривается крайне редко.

С одной стороны, мы имеем множество научно-популярных работ, таких, как [1], где представлены некоторые общие соображения о роли эмоций в технических системах. Например, рассуждения на тему “действительно ли робот боится?”, когда он обнаруживает некоторые препятствия и обходит их, и пр. В некотором смысле эта точка зрения очень близка к подходу, описанному в [2]. Брайтенберг описал некоторую гипотетическую мобильную платформу (тележку) с очень простой внутренней структурой. Брайтенбергская тележка имела примитивные датчики и двигатели (исполнительные органы). В зависимости от того, как были соединены датчики и двигатели, тележка демонстрировала разнообразное поведение. Используя такие элементы, как различные пороговые устройства, поведение тележки становилось более сложным и интересным. Очень важный аспект заключается в том, что Брайтенберг использовал язык психологии для описания поведения тележки. Он описывал поведение тележки в терминах страха и агрессии, трусости и любви, любопытства и жажды исследования и т.д.

С другой стороны, есть группа исследователей, работающих на ниве создания интерфейса между человеком и роботом, например робот по имени “Kismet”, описанный в [3]. Этот робот может изображать серию эмоций благодаря его подвижным векам, глазам и губам. Но эти эмоциональные способности созданы для представления внутреннего состояния робота, и основная

¹ работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 14-01-00817).

функция этого выражения эмоций – обеспечить дружелюбный человеко-машинный интерфейс.

Другой подход представлен в [4]. Хирс и Бернс предложили гуманоидного робота ROMAN (Robot human interaction machine) с архитектурой, базирующейся на эмоциях. Основная идея состоит в том, что эмоциональное состояние робота генерируется стимулами. Взаимодействие человека и робота может быть рассмотрено даже через эстетическое восприятие. Например, этот вопрос обсуждался в [5]. В [6] был описан робот RWI. В этом исследовании использовано моделирование эмоций для определения взаимодействия робота с человеком в цветочувствительных терминах. Взаимодействие с человеком приводит к изменению темперамента робота: при распознавании цвета текущее состояние робота изменяется в направлении соответствующего эмоционального экстремума. Этот механизм работает с использованием специальных карт, определяющих соответствие между распознанным цветом и эмоциональным состоянием.

Однако нас интересует другой аспект эмоций и темперамента. Мы имеем в виду их влияние на поведение робота. Как будет показано ниже, один из наиболее важных аспектов имитации этих психологических феноменов – их использование для группы роботов. Для успешного решения такого комплекса вопросов, как коллективное принятие решений группой роботов [7] или стайное поведение [8], необходима психологическая дифференциация роботов.

В этой работе предлагается архитектура системы управления роботом, реализующая механизмы эмоций и темперамента в простой и естественной форме.

Статья организована следующим образом. В разд. 1 рассматривается вопрос об эмоциях в робототехнике, описывается механизм “эмоциональной” системы управления роботом. Далее представлена модель системы управления, основанная на понятии темперамента. Следующие разделы посвящены описанию поведения “темпераментного” робота и обсуждаются результаты экспериментов, имеющих прежде всего качественный, иллюстративный характер. В заключительных частях работы предлагается некий формализм, описывающий особенности индивидуального и коллективного поведения роботов на основе автоматной модели темперамента.

Сначала рассмотрим вопрос эмоций, а потом вернемся к более сложному предмету этой работы – к темпераменту.

1. Эмоции. Основной вопрос – это влияние эмоций на поведение роботов. Как правило, поведенческий аспект эмоций рассматривается как наличие некоторых эмоций роботов в уже готовой форме. Например, в [9] модель эмоций робота использовала факторы “удовольствие” и “раздражение” для установления набора поведенческих правил для автономных роботов. Например, когда препятствие появлялось в поле зрения робота, поведенческие правила приводили к уменьшению величин “удовольствия” или “раздражения”. Основная идея заключалась в том, что информация о локальной среде, окружающей робота, меняла ориентацию вектора эмоций: “удовольствия” и “раздражения”, что являлось причиной движения роботов. Робот сближается с роботами, для которых “удовольствие” появляется в поле зрения, и удаляется от оных в обратном случае; “градус” (в терминах авторов) удовольствия уменьшался, когда препятствие наблюдалось, и т.д. Таким образом, эмоции порождались прямым наблюдением.

В настоящей работе предлагается несколько иной подход. В [10] рассмотрена реализация механизма эмоций мобильного робота на базе гибридной нейро-продукционной системы управления. В этом исследовании базовой была выбрана так называемая информационная теория эмоций Симонова [11, 12].

Эта теория имеет базовое предположение, что эмоции являются оценкой текущей потребности (ее качества и ценности) и возможности ее удовлетворения. Мозг оценивает эту возможность на основе генетической предрасположенности и ранее полученного индивидуального жизненного опыта. В общем виде отношение этих факторов описывается формулой

$$E = f(N, p(I_{need}, I_{has})), \quad (1.1)$$

где E – эмоция, ее величина, качество и знак; N – сила и качество текущей необходимости; $p(I_{need}, I_{has})$ – оценка возможности удовлетворить потребность на базе врожденного и полученного жизненного опыта; I_{need} – информация о способе, необходимом для удовлетворения потребности; I_{has} – информация об имеющихся средствах, ресурсах и времени, которые субъект действительно имеет в настоящем. Это главным образом качественная формула, иллюстрирующая принцип формирования положительных и отрицательных эмоций от различных воздействий.

Мы можем объяснить выражение (1.1) следующим образом: индивидуум оценивает свои текущие потребности I_{need} или то, что он должен сделать (поесть, найти еду, уклониться от препятствия, убежать и т.д.). Затем он оценивает индивидуальные возможности удовлетворения этих потребностей I_{has} . Различие между потребностями и возможностями определяет эмоциональную оценку текущей ситуации. Если мы имеем некоторые потребности и при этом возможности для их удовлетворения достаточны, то получаем положительную эмоциональную оценку. В противном случае наши эмоции негативны.

Подчеркнем, что в отличие от чувств эмоции относятся к ситуации, а не к объекту. Чувства направлены на некоторый абстрактный или реальный объект (любить что-либо, бояться чего-либо и т.д.). Напротив, эмоции, такие, как удовольствие, удивление или страх, отражают оценку ситуации. Таким образом, воздействие эмоций на любое будущее решение опирается на оценку текущей ситуации.

Была проведена серия экспериментов на базе простых мобильных мини-роботов. Поведение роботов определялось их текущей оценкой баланса между потребностями роботов, актуальной необходимостью и способностью их удовлетворить. С технической стороны эмоции определяют положительный отклик в системе управления робота. Эта модель использует некие обобщенные отрицательные и положительные эмоции, и основной акцент сделан на воздействие негативных эмоций.

Представим выражение (1.1) в следующем виде:

$$E = N(I_{need} - I_{has}). \quad (1.2)$$

Набор поведенческих правил представлен в MYCIN-подобной форме, т.е. в форме продукций с коэффициентами уверенности:

$$R_i : Cond_1 \& \dots \& Cond_k \rightarrow (a_i),$$

$i = \overline{1, m}$ где m — количество действий, выполняемых роботом.

Например, правило “принимать пищу” (питаться) может быть представлено как:

$$\text{ЕСЛИ “Потребность в пище” } (N_{food}) \& \text{ “Вижу пищу” } (S_{food}), \text{ ТО “Питаться” } (a_{eat}),$$

где N_{food} , S_{food} — коэффициенты уверенности, а коэффициент правила a_{eat} определяется как $a_{eat} = \min(N_{food}, S_{food})$.

Таким образом, можно оценить все коэффициенты уверенности a_i , $i = \overline{1, m}$, для всех правил в текущий момент: a_i — величина прогнозируемой необходимости действия I_{need}^i . Но фактический коэффициент правила a_i^{actual} может быть не равен a_i , потому что робот может производить только одно действие в каждый момент времени (это наше допущение). Итак, мы можем определить эмоциональную оценку для всех действий a_i :

$$E_i = N_i(a_i - a_i^{actual}).$$

Полной оценкой эмоционального состояний робота является

$$E = \sum_{i=1}^m E_i.$$

Следовательно, эмоции определяют оценку текущей ситуации в целом. С другой стороны, величины E_i определяют “локальные”, “частичные” эмоции.

“Эмоциональные” роботы (рис. 1) были оснащены набором простых сенсоров и решали стандартные поведенческие задачи, используя некоторые простые правила: “ЕСЛИ (голодный), ТО (искать еду)”, “ЕСЛИ (обнаружено препятствие), ТО (уклониться)” и т.д.

Влияние эмоций на совершение действия реализуется как положительная обратная связь между выходным сигналом (текущее действие) и поведенческими правилами. Рисунок 2 иллюстрирует базовую архитектуру “эмоциональной” управляющей системы.

Блок “Действия” — набор поведенческих процедур. Каждая процедура активируется сигналами блока “Потребности” и сигналами специального элемента “Вентиль”. “Вентиль” — элемент, который принимает прямой сигнал от сенсоров и сигнал обратной связи от выходных элементов. Каждая выходная процедура имеет свой собственный эмоциональный “вес”, согласно выраже-

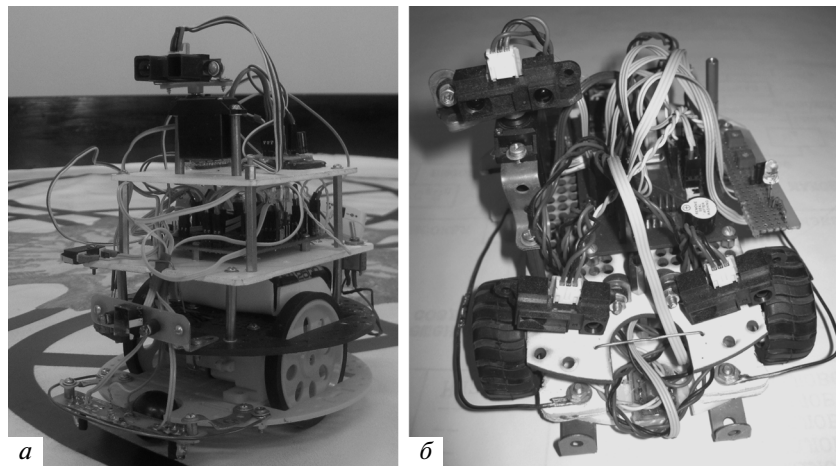


Рис. 1. “Эмоциональные” роботы: а – первый вариант с удаленным управлением; б – более универсальный робот, на котором обрабатывалась не только “эмоциональная”, но и “темпераментная” составляющая системы управления

нию (1.3). Этот сигнал – входная величина для шлюзового элемента. Отсюда следует, что положительные эмоции, ассоциированные с действием a_i , приведут к возрастанию активности этого действия. Фактически, речь идет о существовании положительной обратной связи. Основной интерес возникает в ситуации, когда робот имеет конфликт между его текущими потребностями и возможностями.

Серия проведенных экспериментов показала, что:

эмоции являются естественным индикатором состояния робота. Более того, в некотором смысле, эмоции могут определить критерии обучения робота (основная цель в уменьшении негативных эмоций);

эмоции оттеняют (контрастируют) сенсорное восприятие и стабилизируют поведение робота; роль эмоций в состоянии неполноты информации является основной.

Более детально эти эксперименты описаны в [10].

2. Темперамент. Следующий шаг – переход от эмоций к темпераменту. С точки зрения психологии, темперамент – это одна из возможных систем для оценки психологических особенностей поведения человека и высших млекопитающих и принадлежит к более высокому уровню управления, чем эмоции.

Согласно исследованиям И. Павлова [13], различаются четыре гиппократовских темперамента: меланхолический, холерический, сангвинический и флегматический. В своих работах Павлов опирался на баланс между возбуждением и торможением и определил четыре основных типа нервной системы следующим образом:

меланхолик. Слабый тип, характеризующийся слабыми процессами возбуждения и торможения;

холерик – сильный, несбалансированный тип нервной системы, который характеризуется сильными процессами, но без должных пропорций: оба процесса сильны, но возбуждение доминирует над запаздывающим торможением;

сангвиник – сильный, сбалансированный (процессы возбуждения хорошо сбалансированы с процессами торможения), подвижный тип;

флегматик – сильный, сбалансированный, но с инертной нервной управляющей системой тип.

Павловская модель – это не единственная типология. Например, в [14] приведена типология темперамента по Эйзенку как результат комбинации так называемых экстраверсии и невротизма. При этом очень важно, что возможно определить павловские типы в эйзенковских терминах.

Другой подход изложен в [15], где для описания управляющей системы мобильного агента использована модель темперамента PAD. Эти три составляющие (измерения) модели PAD (Pleasure, Arousal and Dominance – удовольствие, возбуждение, доминирование) задают любое эмоциональное состояние индивидуума. Но проблема состоит в том, что естественный способ перевода этих составляющих в параметры системы управления неочевиден.

Например, в [15] удовольствие соответствует достижению цели (“если агент видит маяк и у него на пути нет препятствий, то в текущий момент его удовольствие максимально”), возбуждение

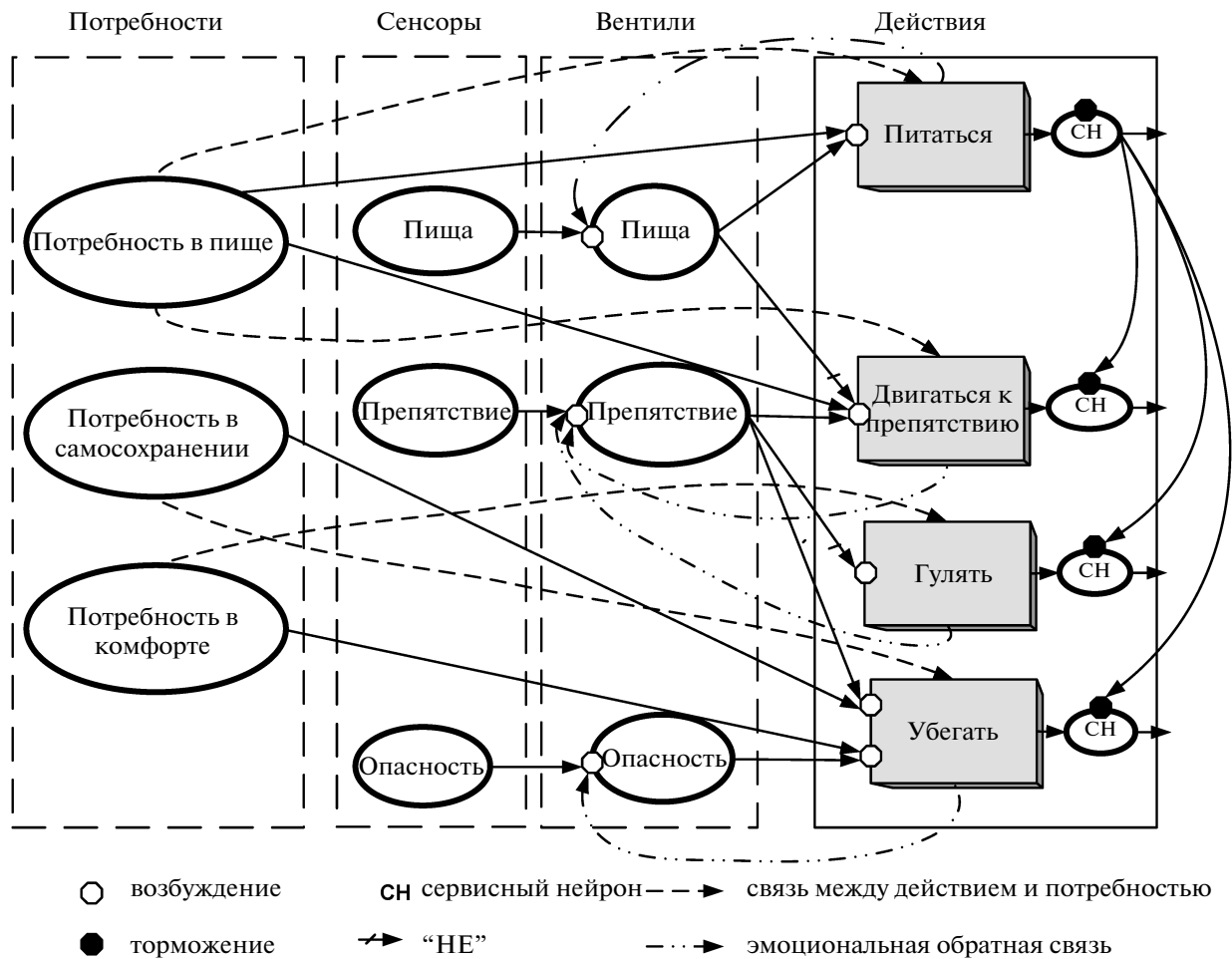


Рис. 2. Архитектура эмоционального робота

определяется количеством внимания, которое требует каждое событие (“чтобы избежать угроз, необходимо внимание агента”) и т.д. К сожалению, такая ситуация, когда авторы пытаются использовать неестественные и даже искусственные рассуждения, достаточно широко распространена в исследованиях, посвященных реализации процессов высшей нервной деятельности в реальных роботизированных устройствах.

В этой работе мы полагаем, что поведенческие реакции описаны двумя факторами: силой и балансом нервных процессов возбуждения и торможения. В терминах возбуждения и торможения можно представить эти типы так, как показано в табл. 1.

В этом случае можно охарактеризовать поведение робота следующим образом:

меланхолик: большая временная задержка ответа, ответ поддерживается в течение долгого времени;

Таблица 1. Типология темперамента в терминах возбуждения и торможения

Тип	Уровень	
	возбуждение	торможение
Меланхолик	Низкий	Низкий
Холерик	Высокий	Низкий
Сангвиник	Высокий	Высокий
Флегматик	Низкий	Высокий

холерик: короткая временная задержка ответа, но ответ поддерживается в течение относительно долгого времени;

сангвиник: быстрые, импульсивные и относительно непродолжительные реакции;

флегматик: длительная временная задержка и непродолжительный ответ.

Сами термины “возбуждение” и “торможение” можно рассматривать с различных сторон. Например, существует так называемая теория возбуждения [16, 17], которая описывает субъективное выполнение умственной задачи. Эта теория базируется на том предположении, что субъект действительно проходит серию альтернативных состояний от отвлеченного (нерабочего) состояния к состоянию внимания (рабочему). В этой теории возбуждение определяет скорость этих переходов. Кроме того, можно отметить такой интересный и важный аспект возбуждения, как защитный механизм мозга – ответ организма на подавляющие стимулы («запредельное торможение» в павловской терминологии [18, 19]).

С другой стороны, баланс между торможением и возбуждением может рассматриваться в контексте нейрофизиологии, в терминах мембранного потенциала нейронов. В этой ситуации торможение и возбуждение описываются коэффициентами вариации межспайковых интервалов [20].

В данной работе торможение и возбуждение используются как параметры (значение и направление) обратной связи в системе управления робота. Этот подход близок к подходу брайтгенбергских “тормозящих элементов” [2], которые противодействуют сигналам возбуждения, приходящим на пороговые элементы устройств с других (внешних) источников.

Конечно, эти модели эмоций и темперамента, которые сведены до терминологии механизма обратной связи, являются очень приблизительными и даже примитивными. Это так, и необходимо доопределять их, усложнять, наполнять большим содержанием. Но эти модели работают на практике, они работают в реальных робототехнических системах. В инженерном деле часто случается так, что некоторые “грубые” теории оказываются более приемлемыми на практике, чем “точные” и строгие теории. Это происходит, когда не существует интегральной и адекватной теории, охватывающей полностью тот или иной феномен. К примеру, на первом этапе становления теории автоматического регулирования иногда оказывалось, что тщательная проработка, шлифовка узлов и механизмов приводила к тому, что такие регуляторы, в отличие от своих “грубых” предшественников, переставали работать. Другим примером является нечеткая логика. На практике использование простых функций принадлежности иногда более приемлемо, чем применение высокоточных функций или концепции степеней функций принадлежности.

3. Система управления. Рассмотрим следующую задачу. Пусть существует простой робот, который “любит” темные места и “боится” ярко освещенных мест, имеет потребность в “пище” и старается избегать столкновений с препятствиями. Этот робот оснащен несколькими датчиками: сенсором “пищи” (детектором черного пятна на полу), инфракрасным датчиком для определения расстояний до препятствий, бампером (датчик столкновений), светочувствительным датчиком и внутренним (виртуальным) датчиком голода.

В дополнение к этому робот имеет набор потребностей: в пище, в безопасности (он “боится” столкновений), в комфорте (он любит темные места и не любит свет). Когда робот находится в темноте и не голоден, он “спит”.

Предполагается, что основная система управления робота оперирует только терминами поведенческих действий. Эта система управления не использует таких действий, как “повернуть налево или направо”, “двигаться вперед или назад” и т.п. Все эти действия перенесены на нижний уровень управления. Основная система управления применяет сложные поведенческие процедуры: процедуры поиска пищи, процедуры сна (отдыха) и т.д., см. рис. 3.

Итак, предположим, что наш робот имеет потребность в пище (блок “Потребности” выдает постоянный сигнал) и он эту пищу нашел (блок “Сенсоры”). Соответствующее правило поведения будет таким:

ЕСЛИ (s_{food}^{need} & s_{food}^{sens}), ТО C_{eat}^{proc} [$f(PROC_EAT)$].

Здесь s_{food}^{need} , s_{food}^{sens} – величины сигналов от блока потребностей в пище и сенсора обнаружения пищи соответственно, а C_{eat}^{proc} [$f(PROC_EAT)$] – заключение правила, которое должно вызвать запуск процедуры поедания найденной пищи ($PROC_EAT$ на рис. 3).

Важно, что вывод C_{eat}^{proc} не приводит к немедленному запуску процедуры $PROC_EAT$:

$C_{eat}^{proc} \rightarrow ? \rightarrow exec(PROC_{EAT})$.

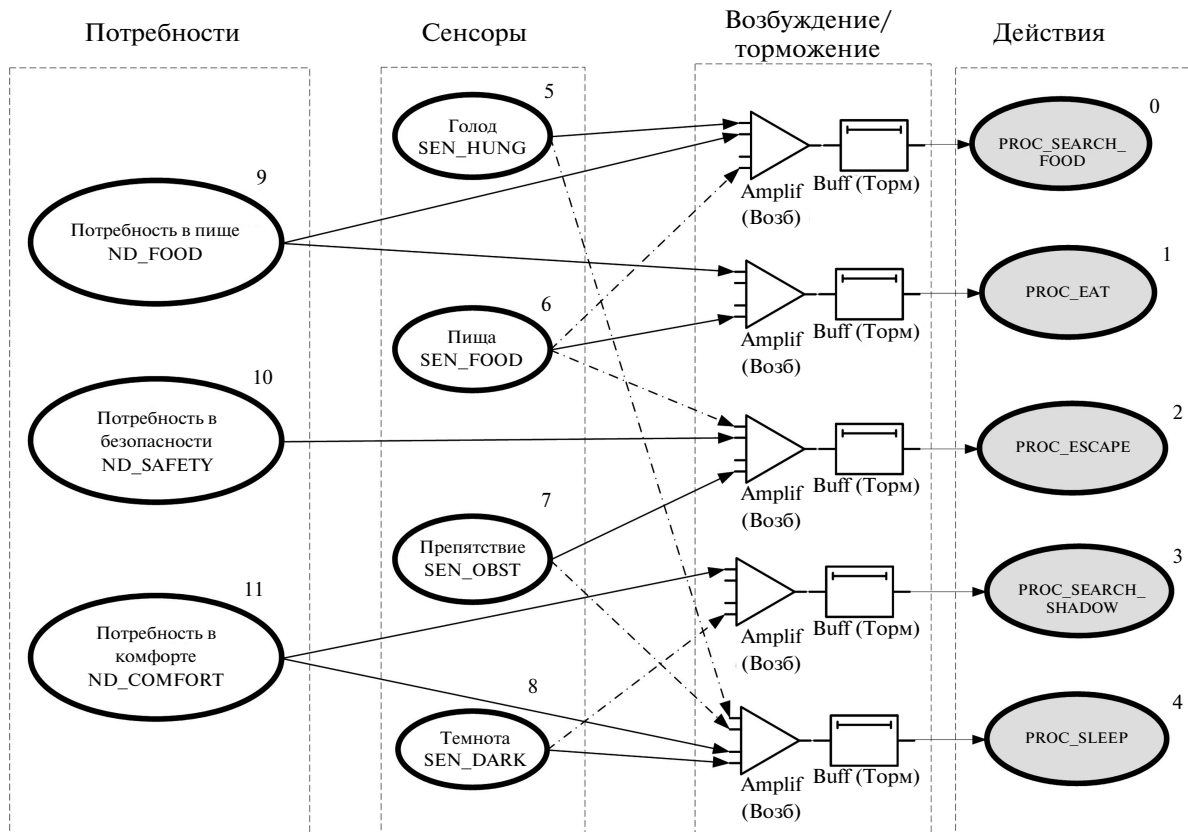


Рис. 3. Архитектура системы управления

Вывод проходит через блок “Возбуждение/торможение” для активации соответствующих процессов возбуждения и торможения.

Основная проблема заключается именно в реализации механизмов возбуждения и торможения в этой системе. Параметр возбуждения реализован более естественным образом: используется некий аналог искусственного нейрона. Этот элемент принимает входные сигналы (от датчиков и блока “Потребности”), суммирует их и передает на выход. В отличие от стандартного нейрона здесь не используются весовые коэффициенты (взвешенные входы), а применяется общий вес W_e для всех входов x_i . Значение этого веса и есть параметр возбуждения:

$$\begin{array}{c} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{array} \rightarrow \begin{array}{c} \text{Amplif} \\ \text{Buff} \end{array} \rightarrow y(t) = W_e \sum_i x_i.$$

Параметр торможения является более проблематичным и менее естественным. Использование отрицательной обратной связи не дает хороших результатов. В качестве одного из вариантов рассматривалось применение обратной связи для взаимного торможения выходных сигналов, но это приводило к примитивной реализации процедуры “победитель получает все” (*латеральное торможение*). Попытки использовать прямое торможение сенсорной активности также приводили к нечетко выраженной реакции, несколько невнятным результатам. В конце концов оказалось, что более приемлемым решением является применение выходного буфера памяти.

Предположим, что все выходные сигналы проходят через линии задержки. Эти задержки могут представлять собой процесс торможения. Следующим шагом является применение вместо линии задержки простого буфера, который формирует среднее арифметическое входных сигналов. Длина этого буфера и была принята в качестве значения параметра торможения.

Выходные элементы взаимно тормозят друг друга, одновременно активируя сами себя (эти связи не показаны на рис. 3). Таким образом, через некоторое время будет активирован только

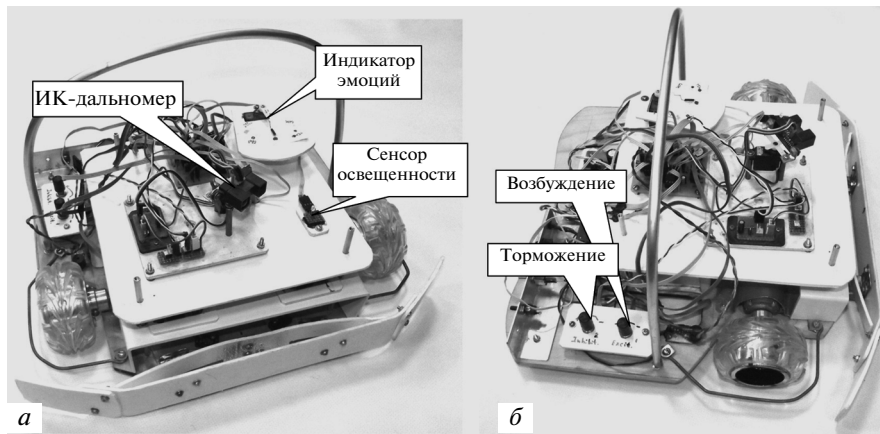


Рис. 4. Мобильный робот TR-12

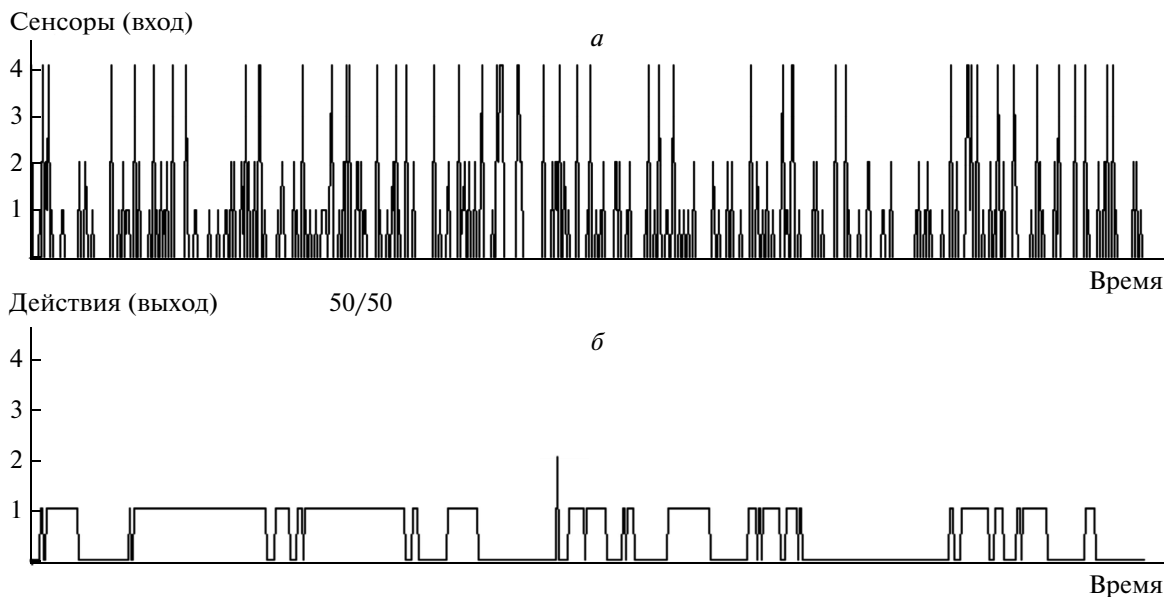


Рис. 5. а – случайная входная последовательность, б – выходные сигналы (номер процедуры поведения)

один выходной элемент. Этот элемент напрямую определяет процедуру поведения, которая и будет выполняться. В некотором смысле мы имеем систему вида победитель получает всё.

4. Робот. Мобильный робот TR-12, на котором проводились эксперименты, был оборудован множеством сенсоров – бамперами, инфракрасными датчиками расстояния, датчиками света и т.д. Робот также оснащен средствами коммуникации, которые позволяют ему создавать канал связи с удаленным компьютером. На самом деле это простая универсальная платформа, которая может функционировать как автономно, так и в режиме телеуправления. В отличие от роботов на рис. 1. эта платформа имеет полнофункциональную бортовую систему управления. Возможностей этой системы управления достаточно, чтобы реализовать все эмоциональные и темпераментные модели поведения. Сам робот представлен на рис. 4. На изображении отмечен основной орган зрения робота – инфракрасный дальномер (ИК-дальномер).

Наиболее интересные компоненты робота – это индикатор эмоций и блок задания темперамента. Индикатор эмоций является аналогом индикатора, который использовался для демонстрации эмоционального состояния робота (в соответствующих экспериментах).

Блок задания темперамента состоит из двух частей: регуляторов “Возбуждение” и “Торможение”, позиции которых определяют значения параметров возбуждения и торможения соответ-

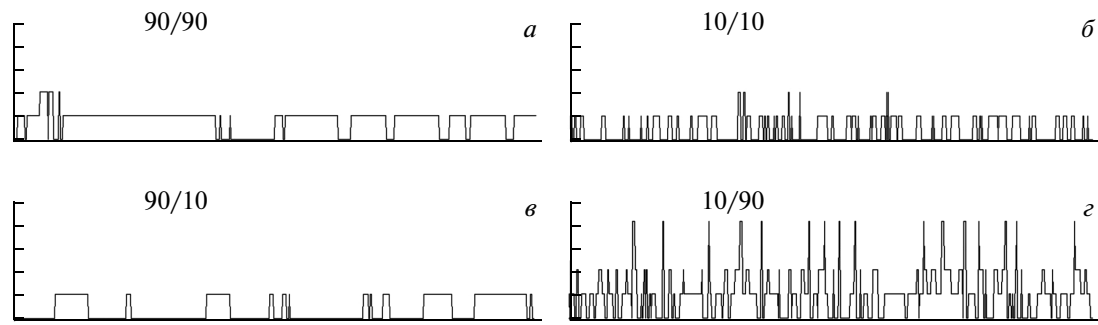


Рис. 6. Зависимость выходной реакции от баланса между торможением и возбуждением в системе управления: а – сангвиник, б – меланхолик, в – флегматик, г – холерик

ственно. Например, когда регулятор “Торможение” установлен в максимальную позицию, а “Возбуждение” – в минимальную, робот становится флегматиком.

5. Эксперименты. Была проведена серия вычислительных и натуральных экспериментов.

Вычислительные эксперименты. Входные сигналы имитировались псевдослучайной последовательностью (рис. 5, а). В каждый момент генерировался случайный сигнал датчика (значения от 1 до 4: “пища”, “темнота”, “препятствие” и “опасность”). Затем определялась одна из выходных реакций – номер сработавшей процедуры поведения (рис. 5, б.).

Баланс между торможением и возбуждением определяет явным образом манеру поведения робота (см. рис. 6).

В дальнейшем будем считать, что сила возбуждения и торможения представлена как некая величина в диапазоне от 0 до 100 (процент от некоторого максимального значения параметра). Если мы имеем высокий уровень возбуждения и торможения (90/90, рис. 6, а), то поведение робота достаточно стабильно (сангвиник). Низкий уровень возбуждения и торможения (10/10, рис. 6, б) с высокой вероятностью повлечет смену процедуры поведения робота, но в ограниченном диапазоне (меланхолик). Высокий уровень торможения и низкий уровень возбуждения (90/10, рис. 6, в) приведет к тому, что робот будет менять свое поведение редко (флегматик). И, в конце концов, когда мы имеем низкий уровень торможения и высокий уровень возбуждения (10/90, рис. 6, г), робот становится холериком с высокой вероятностью изменения поведения и широким диапазоном реакций. Различия поведения робота очевидны.

Эти иллюстрации имеют только качественный характер. Они описывают влияние баланса между торможением и возбуждением на манеру поведения робота – стабильность реакции, скорость, способность игнорировать внешние часто повторяющиеся сигналы и т.д. Главная и наиболее интересная задача заключалась в проведении экспериментов на реальном техническом устройстве.

Натурные эксперименты. Эти эксперименты проводились уже на описанном выше роботе. Как было указано, основой системы управления робота был набор продукций. Окончательная реализация набора правил поведения состояла из семи продукций:

- 1) ЕСЛИ требуется_пища И найдена_пища, ТО Процедура_есть_пищу;
- 2) ЕСЛИ выявлено_препятствие И требуется_пища И НЕ(найдена_пища), ТО Процедура_двигаться_к_препятствию;
- 3) ЕСЛИ НЕ(выявлено_препятствие) И требуется_комфорт, ТО Процедура_гулять;
- 4) ЕСЛИ требуется_безопасность И выявлено_препятствие, ТО Процедура_бежать_прочь;
- 5) ЕСЛИ требуется_комфорт И выявлена_опасность, ТО Процедура_найти_тень;
- 6) ЕСЛИ требуется_комфорт И НЕ(выявлена_опасность), ТО Процедура_спать;
- 7) ЕСЛИ требуется_пища И НЕ(найдена_пища), ТО Процедура_искать_пищу.

Каждый вывод в этих правилах представляет собой определенную процедуру поведения. Все эти процедуры базируются на конечных автоматах. Данный набор правил предусматривает достаточно широкий диапазон поведенческих действий.

Сила (интенсивность) и баланс между торможением и возбуждением были заданы положениями специальных регуляторов (рис. 4, б). Главная проблема заключалась в том, как определить поведение робота. Для этого был применен индикатор, аналогичный эмоциональному индикатору (рис. 4, а), который показывал номер текущей процедуры поведения. Окончательно система

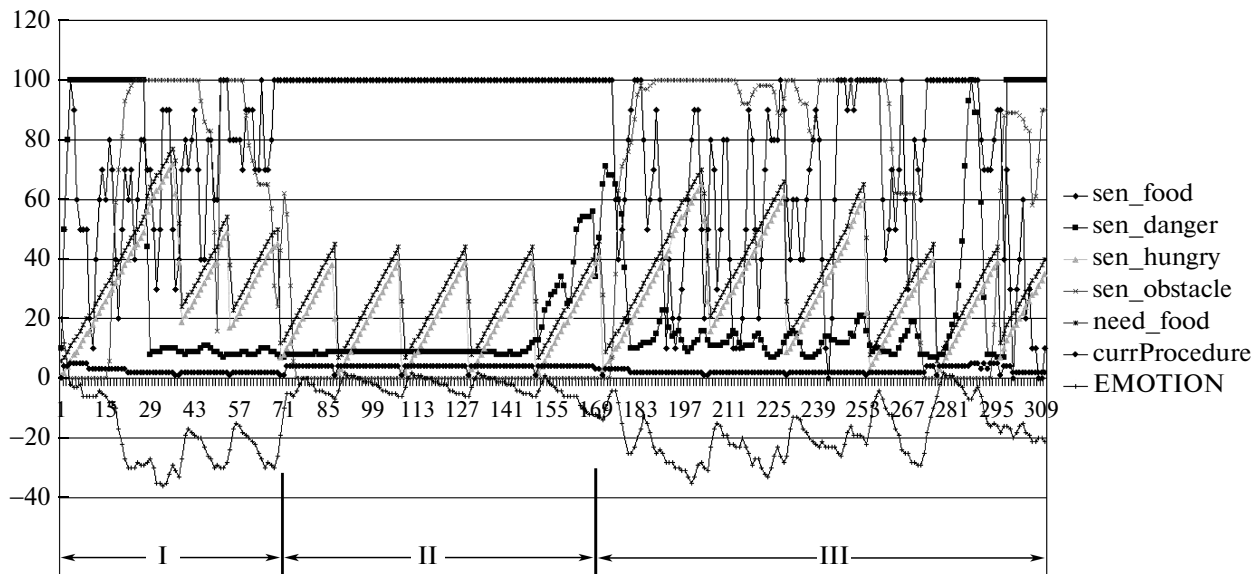


Рис. 7. Информация с сенсоров, реакция робота и его эмоциональное состояние

управления робота объединила обе предыдущих схемы: эмоциональную (рис. 2) и темпераментную (рис. 3).

На практике основной проблемой была сложность, связанная с предложением формальных критериев или оценок эмоционального или темпераментного поведения робота. На рис. 7. приведен фрагмент множества значений сенсоров и реакций робота на них на временном интервале в 150 с.

Более того, мы можем только оценить эмоциональное состояние робота (нижний график) и дать качественную интерпретацию поведения робота в определенный момент времени. Например, вначале робот получил сигнал опасности (“*sen_danger*”), оставаясь при этом голодным (“*sen_hungry*” or “*need_food*”).

Если робот не имеет возможности удовлетворить чувство голода, его основная эмоциональная оценка ситуации будет отрицательной. Это соответствует промежутку времени I. Далее, сигнал опасности пропал (интервал времени II), и робот смог выполнить процедуру “поедание пищи”. В конце ситуация повторилась снова (интервал времени III) и робот опять начал испытывать отрицательные эмоции. Таким образом, проведенные эксперименты носили в основном качественный, а не количественный характер.

Основным методом для определения состояния и оценки поведения робота были длительные наблюдения. Иногда было ясно видно, что поведение робота становилось нервным (как у холерика), иногда его поведение было очевидно заторможенным, но были сложности в идентификации различий между поведением сангвиника и флегматика. Однако это общая проблема физиологии: в действительности нет чистых типов темпераментов, но есть смесь из различных свойств (черт), которые характеризуют тот или иной тип темперамента.

Тем не менее, можно считать, что эти эксперименты подтвердили наши предположения. Будучи очень осторожными в вопросах психологической интерпретации поведения робота, попробуем ограничиться только описанием и интерпретацией некоторых наблюдаемых эффектов.

Таблица 2. Экспериментально определенная зависимость между эмоциями робота и параметрами возбуждения/торможения

Возбуждение (1–10)	Торможение (1–10)	Эмоции (–100...+100)	Тип
10 (высокое)	1 (низкое)	–60	Холерик
5 (высокое)	10 (высокое)	–24	Сангвиник
1 (низкое)	10 (высокое)	+20	Флегматик

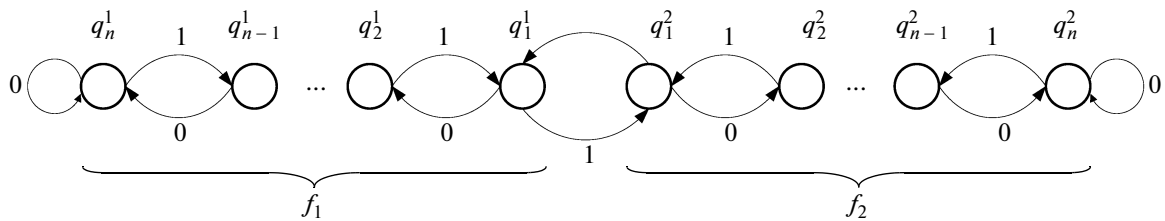


Рис. 8. Автомат с линейной тактикой

Например, в одной из серии экспериментов определялись средние значения эмоций как функций от параметров возбуждения и торможения. Некоторые типичные результаты показаны в табл. 2.

Робот-холерик в основном имел достаточно сильные и определенно негативные эмоции. Его поведение было очень раздраженным (неврастеничным). Робот-сангвиник также испытывал в основном отрицательные эмоции, но более слабые. Его поведение было достаточно адекватным по отношению к внешним условиям окружающей среды. Робот-флегматик по большей части испытывал положительные эмоции, но его поведение было несколько заторможенным. Поведение робота-меланхолика с низкими уровнями возбуждения и торможения было совершенно неинтересным. Большую часть времени робот стоял и “отдыхал”, только изредка отправляясь на поиски пищи. У него преобладали отрицательные эмоции.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что положительные эмоции стабилизируют поведение робота. В некотором смысле они частично отвечают за реализацию механизма кратковременной памяти. Имеется в виду, что положительная обратная связь поддерживает значение выходных сигналов и после того, как перестает поступать входной сигнал от рецепторов. Отрицательные эмоции усиливают и контрастируют восприятие робота. Они отвечают за инициацию поисковых процедур. По крайней мере, робот пытается что-то делать. Это видно по тому, что происходит частое переключение между поведенческими программами.

Итак, эмоции являются чрезвычайно важным механизмом определения стиля и манеры поведения. Механизм эмоций обеспечивает оценку текущей ситуации и принятие решений. Этот механизм является “физиологическим слоем” в системе управления робота [15]. С другой стороны, темперамент определяет параметры механизма эмоций. Темперамент, как постоянный, “психический” уровень задает эмоциональные параметры – коэффициенты возбуждения и торможения.

6. Автоматная модель темперамента. Наблюдения и/или имитационное моделирование – не самые удобные способы анализа поведения робота. Далее будет описана попытка создания механизма анализа поведения, причем не на внешнем, бихевиористском уровне, а хотя бы на уровне статистического анализа и простых вычислительных экспериментов.

В основе наших дальнейших рассуждений будет лежать предположение: модель темперамента как характеристики поведения может быть представлена в виде конечного автомата. Далее, если это не будет оговорено особо, мы будем опираться на результаты исследований Цетлина и его школы в области поведения автоматов [21].

Сведя, как это было показано выше, определение темперамента к балансу между возбуждением и торможением, попробуем проинтерпретировать эти параметры в автоматных терминах.

Рассмотрим для примера конечный детерминированный автомат, называемый линейным.

Линейный автомат (автомат с линейной тактикой) $L_{fn,f}$. Автомат совершает f действий и имеет fn состояний. Ниже приведен граф частного случая такого автомата – $L_{2n,2}$. Этот автомат совершает два действия и имеет $2n$ состояний. В состояниях q_i^1 он совершает действие f_1 , а в состояниях q_i^2 – действие f_2 , $i = \overline{1, n}$.

При получении сигнала поощрения (“0”) автомат изменяет свое состояние, уходя все глубже от точки смены действия. При получении сигнала наказания (“1”) автомат переходит в состояния с меньшим номером, приближаясь к точке смены действия (рис. 8).

Автомат с линейной тактикой может быть погружен в стационарную случайную среду $C = C(a_1, a_2, \dots, a_n)$. Параметры среды a_i имеют следующий смысл: действие автомата f_i влечет выигрыш с вероятностью $p_i = (1 + a_i)/2$ и проигрыш с вероятностью $q_i = (1 - a_i)/2$. Фактически, пара-

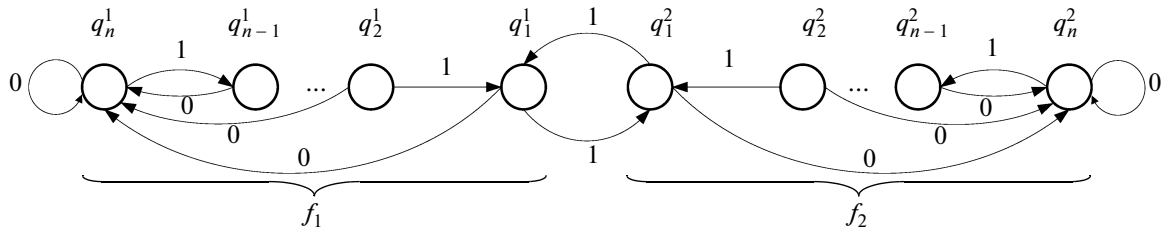


Рис. 9. Доверчивый автомат

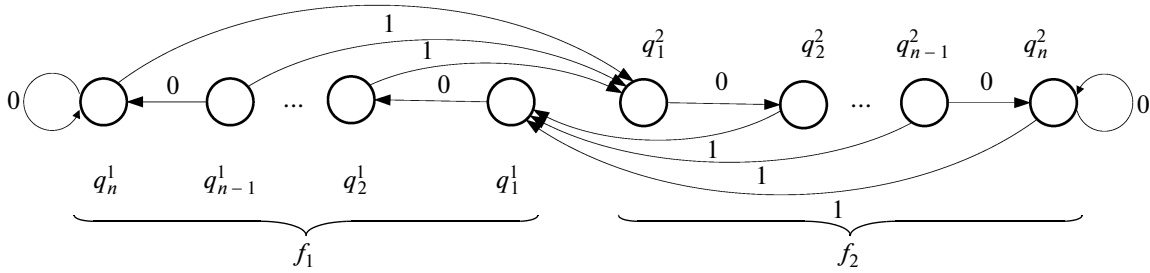


Рис. 10. Недоверчивый автомат

метры a_i представляют собой математическое ожидание выигрыша автомата ($a_i \in [0..1]$). Считается, что автомат обладает целесообразным поведением в среде S , если его математическое ожидание выигрыша больше, чем у автомата, который совершает свои действия равновероятно и независимо от реакций среды.

Исходя из вышеизложенного, можно ввести следующую интерпретацию возбуждения и торможения. Будем считать, что величина параметра возбуждение определяет тенденцию перехода автомата в удаленное состояние q_i^i некоторой выбранной ветви i при получении сигнала поощрения. Торможение будет определяться тенденцией автомата к сохранению выбранной тактики при наказании. Чем ниже величина торможения, тем более склонен автомат к смене действия, т.е. к переходам в состояния q_i^i . В этом смысле линейный автомат может характеризоваться низким уровнем возбуждения и низким уровнем торможения. С точки зрения темперамента его можно считать меланхоликом.

Рассмотрим еще несколько конструкций автоматов.

Автомат $D_{fn,f}$. Отличие этого автомата от $L_{fn,f}$ заключается в том, что, получив сигнал поощрения ('0'), он сразу переходит в самое глубокое состояние, соответствующее этому действию. Это – так называемый доверчивый автомат (рис. 9).

Автомат $N_{fn,f}$. Этот автомат, напротив, пессимистичен. Получая сигнал поощрения, он последовательно переходит в более глубокое состояние, а вот получив сигнал наказания ('0'), он сразу меняет свою тактику: из состояния q_i^a (действие f_a) он переходит в состояние q_1^{a+1} (действие f_{a+1}) (рис. 10).

Автомат $P_{fn,f}$. Некоторая модификация автомата $N_{fn,f}$. Однако его реакция на наказание менее пессимистична. При наказании он не меняет сразу свою тактику, однако переходит в состояние, близкое к точке смены действия: из состояния q_i^a он переходит в состояние q_1^a . Если, находясь в этом состоянии, он получает сигнал наказания, то тогда происходит смена тактики (рис. 11).

Автомат $L_{f,f}$. Частный случай автомата с линейной тактикой $L_{fn,f}$, у которого количество действий равно количеству состояний. Глубина памяти такого автомата минимальна и он немедленно реагирует на сигнал наказания, меняя свое действие. В каком-то смысле поведение этого автомата можно считать невзрачным (рис. 12).

Крайне важно то обстоятельство, что конструкции некоторых автоматов образуют так называемые асимптотически оптимальные последовательности. Таковыми являются автоматы $L_{fn,f}$ и

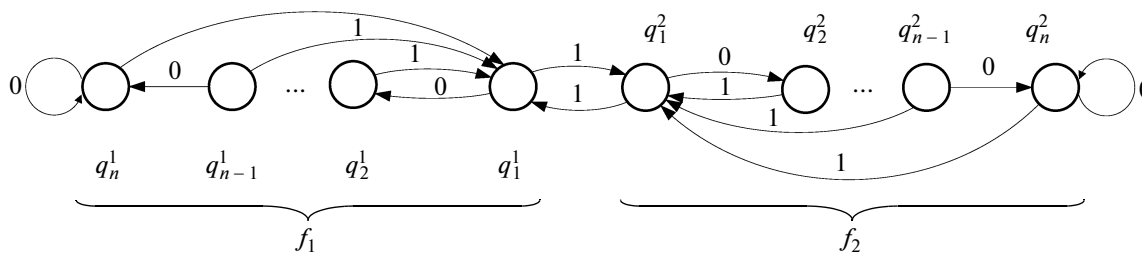


Рис. 11. Пессимистический автомат

$D_{fn,f}$. Это означает, что при бесконечном росте числа состояний n математическое ожидание выигрыша стремится к своему теоретическому максимуму, т.е. автомат всегда совершает наиболее выгодное действие, даже если разница между параметрами среды a_i сколь угодно мала. К сожалению, вопрос, образуют ли автоматы $N_{fn,f}$ и $P_{fn,f}$ такие же асимптотически оптимальные последовательности, остается открытым.

Итак, если принять нашу интерпретацию параметров возбуждения и торможения, то получим следующую картину, представленную в табл. 3.

Разумеется, здесь и далее речь идет о ситуациях, когда нам заранее не известны свойства среды, иначе все рассуждения теряют смысл.

Сама по себе задача поведения автомата в стационарных случайных средах изучена достаточно полно, и вряд ли требует привлечения таких феноменов, как эмоции и темперамент. Интерес представляет поведение автоматов в сложных, составных средах. Составная среда состоит из стационарных случайных сред и описывается цепью Маркова $K(C^{(1)}, \dots, C^{(V)}, \Delta)$. Каждое состояние $C^{(i)}$ соответствует стационарной случайной среде $C^{(i)} = C(a_1^i, a_2^i, \dots, a_n^i)$, а Δ – матрица переходных вероятностей. Эффективность поведения автомата в некоторой составной среде зависит от структуры и глубины памяти. И наоборот: для каждой составной среды различные по своей структуре автоматы показывают разную эффективность.

Далее приводятся результаты вычислительных экспериментов, в которых автоматы погружались в составные среды с различными характеристиками. Каждая составная среда K характеризовалась следующими параметрами.

1. Свойства входящих в ее состав стационарных случайных сред. Каждая стационарная среда $C^{(i)}$ имела одинаковую структуру:

$$C^{(i)} = C(-a, \dots, a, \dots, -a), \quad a_j^i = \begin{cases} a, & i = j, \\ -a, & i \neq j \end{cases}$$

и характеризовалась одним параметром a . Этот параметр (матожидание выигрыша) определял своего рода степень “предрасположенности” среды к тому или иному действию.

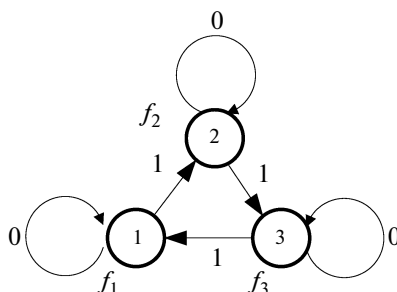


Рис. 12. Неврастеничный автомат

Таблица 3. Соответствие конструкции автомата и темперамента

Уровень		Тип	Автомат
возбуждения	торможения		
Низкий	Низкий	Меланхолик	Автомат с линейной тактикой $L_{fn,f}$
Высокий	Низкий	Холерик	“Неврастеничный” автомат $L_{f,f}$
Высокий	Высокий	Сангвиник	“Доверчивый” автомат $L_{fn,f}$
Низкий	Высокий	Флегматик	“Недоверчивый” автомат $N_{fn,f}$ или “пессимистический” автомат $P_{fn,f}$

2. Свойства матрицы переходных вероятностей Δ . Матрицы различались по структуре (характеру составной среды или типу) и по значению вероятностей переключений δ . По структуре были выделены два типа.

Стационарный. Эта почти стационарная среда описывалась следующей матрицей:

$$\Delta_{ij} = \begin{cases} \delta, & j = 1 \\ \frac{1-\delta}{n-1}, & j \neq 1 \end{cases} \text{ для любых } i.$$

Смысл ее состоит в том, что в основном работает первая стационарная среда (значения вероятностей в первом столбце больше остальных). Например, матрица переходных вероятностей для трех стационарных сред выглядит так:

$$\Delta = \begin{bmatrix} \delta & \varphi & \varphi \\ \delta & \varphi & \varphi \\ \delta & \varphi & \varphi \end{bmatrix}$$

Здесь и далее $\varphi = \frac{1-\delta}{2}$.

б) Переключатель. С большей вероятностью система сохраняет свое текущее состояние, нежели реализует переключение на другие стационарные среды:

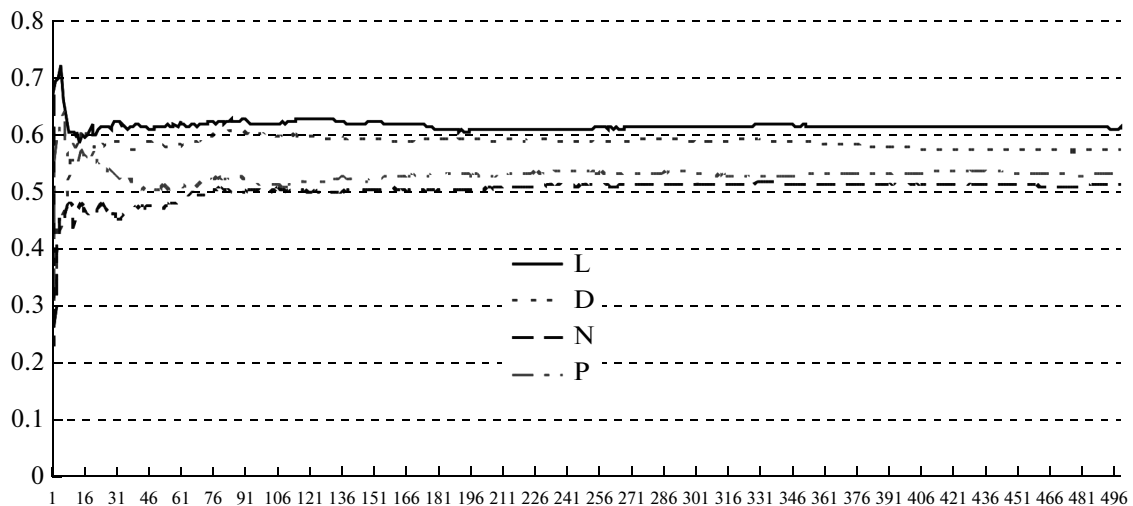


Рис. 13. Почти стационарная среда. Преимущество — у автомата с линейной тактикой (меланхолика)

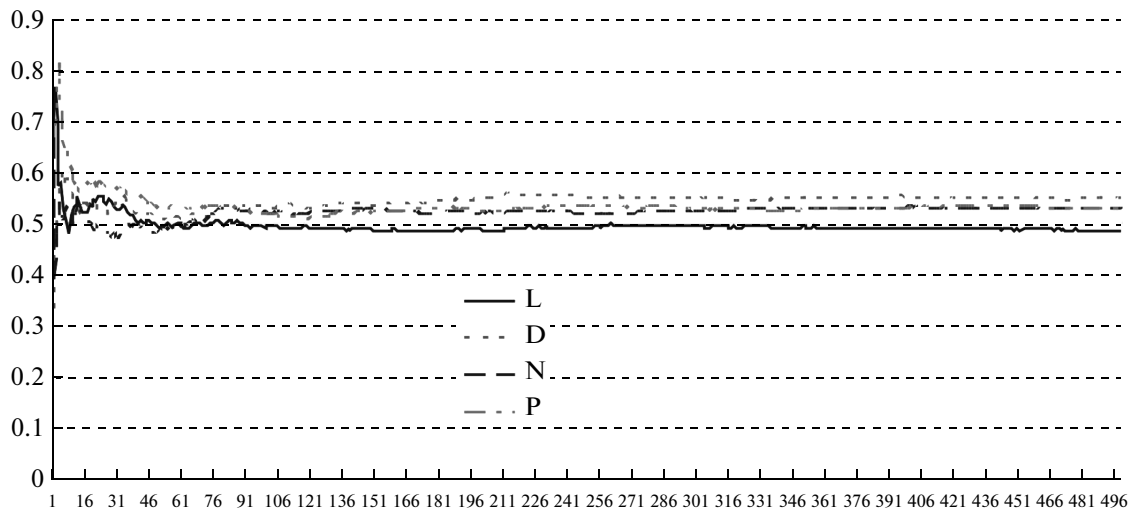


Рис. 14. Среда с интенсивными переключениями. Преимущество – у “доверчивого” автомата (сангвиника)

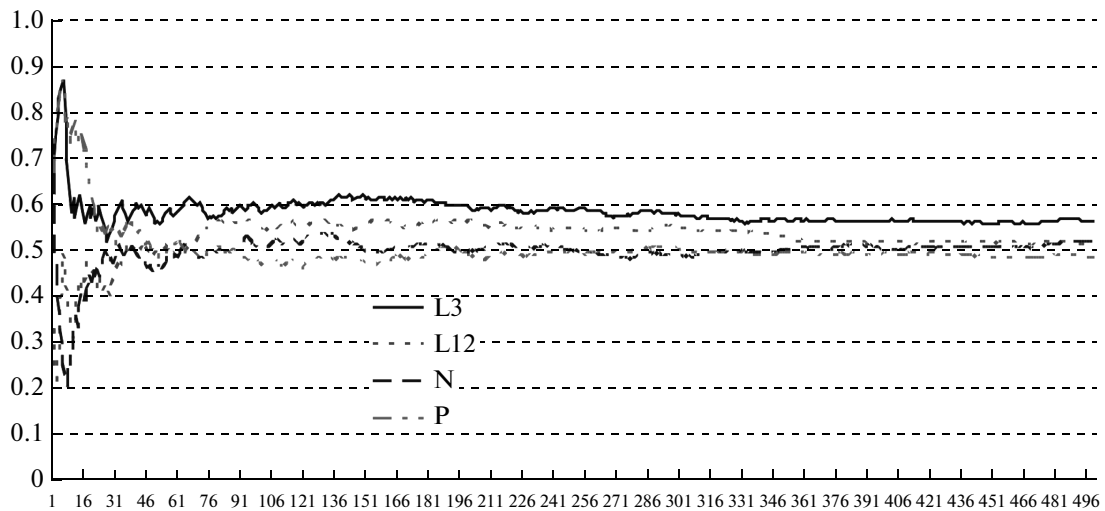


Рис. 15. Среда с очень интенсивными переключениями. Преимущество – у “неврастеничного” автомата L3 (холерика)

$$\Delta_{ij} = \begin{cases} \delta, & i = j \\ \frac{1-\delta}{n-1}, & i \neq j. \end{cases}$$

Пример матрицы для трех стационарных сред:

$$\Delta = \begin{bmatrix} \delta & \varphi & \varphi \\ \varphi & \delta & \varphi \\ \varphi & \varphi & \delta \end{bmatrix}.$$

Теперь перейдем к результатам собственно экспериментов.

1. Эксперимент L D. Почти стационарная среда. Характеристики составной среды: $a = 0.2$, $\delta = 0.99$, тип матрицы – стационарный. Эксперимент проводился для четырех типов автоматов: L – автомат с линейной тактикой, D – “доверчивый” автомат, N – “недоверчивый”, а P – “пессимистический” автомат. На рис. 13 по оси абсцисс отложено время, а по оси ординат – значение

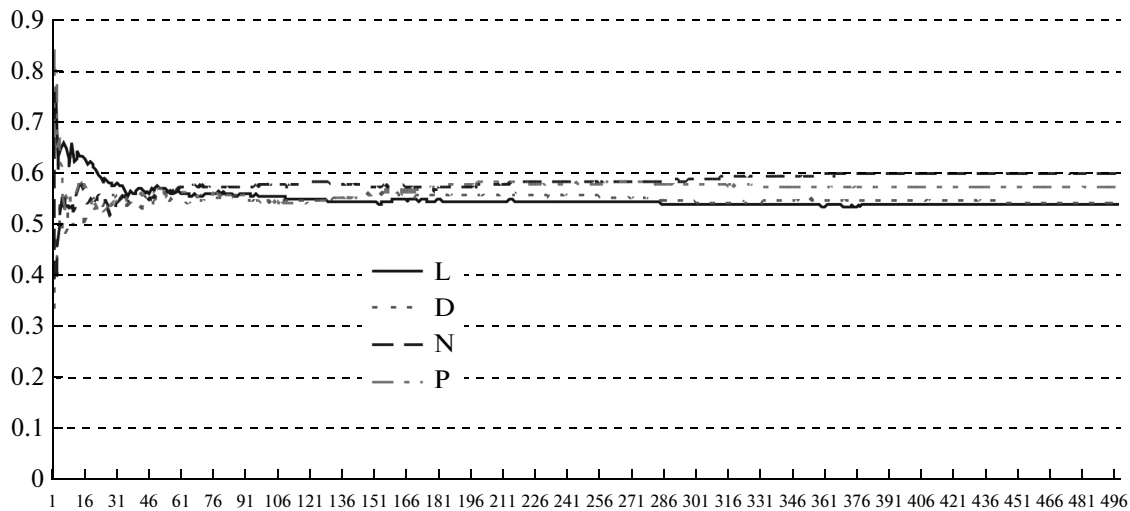


Рис. 16. Среда с интенсивными переключениями. Преимущество – у “недоверчивых” автоматов N и P (флегматиков)

показателя качества автомата $\eta(t)$, соотношение между числом поощрений $N_0(t)$ и наказаний $N_1(t)$, полученных к моменту времени t :

$$\eta(t) = \frac{N_0(t)}{N_0(t) + N_1(t)}. \quad (6.1)$$

Величина $\eta(t)$ у автоматов типа L и D стремится к теоретическому максимуму – значению математического ожидания выигрыша. В такой среде преимущества у автоматов L и D очевидны, причем лучшие результаты показывает автомат с линейной тактикой L. Это можно трактовать так, что стационарная среда является наиболее предпочтительной для меланхолика.

Как в текущем, так и во всех экспериментах, описанных ниже, время моделирования составляло 5000 тактов.

2. Эксперимент D. Характеристики составной среды: $a = 0.5$, $\delta = 0.9$, тип матрицы – “переключатель”. Здесь преимущество получает доверчивый автомат D, т.е. сангвиник (рис.14).

3. Эксперимент L33. Характеристики составной среды: $a = 0.75$, $\delta = 0.6$, тип матрицы – “переключатель”. Среда характеризуется большей скоростью переключения сред, т.е. является менее предсказуемой. В такой среде, очевидно, необходима большая скорость переключения тактик автомата, т.е. увеличение глубины памяти автомата сказывается отрицательно. Здесь преимущество получает автомат $L_{f,f}$, т.е. холерик (рис. 15).

4. Эксперимент PN. Характеристики составной среды: $a = 0.75$, $\delta = 0.75$, тип матрицы – “переключатель”. Среды переключаются достаточно интенсивно, математическое ожидание сильно выражено. Здесь преимущество получают недоверчивый и пессимистический автоматы N и P, т.е. флегматики (рис. 16).

Сводные результаты экспериментов приведены в табл.4

Таблица 4. Сводная таблица экспериментов

Эксперимент	a	δ	Тип матрицы Δ	Характер
LD	0.2	0.99	Стационарный	L – меланхолик
D	0.5	0.90	Переключатель	D – сангвиник
L33	0.75	0.6	Переключатель	$L_{f,f}$ – холерик
PN	0.75	0.75	Переключатель	N и P – флегматики

Итак, было показано, что для каждой среды можно выбрать наиболее подходящий для нее автомат, причем подходящий — в терминах темперамента (интересно, что в [22] приведены весьма образные характеристики поведения автоматов). Осталось определить, что значит подходящий. Речь идет о том, что необходимо задать некий функционал качества. Отчасти этот вопрос близок (по аналогии) к показателям качества переходного процесса. Таким показателем может быть время регулирования, т.е. минимальное время, по истечении которого регулируемая величина будет оставаться близкой к установившемуся (асимптотическому) значению с заданной точностью; перерегулирование, т.е. максимальное отклонение переходной характеристики от установившегося значения, или иные характеристики.

С практической точки зрения наиболее подходящим показателем является аналог времени переходного процесса. Дело в том, что само по себе асимптотическое поведение автоматов нас не интересует. Автомат описывает устройство, работающее в реальной среде в реальном времени, поэтому скорость его адаптации крайне важна. Именно поэтому время моделирования во всех экспериментах составляло всего лишь 5000 тактов.

Определение показателя качества, основанное на аналогии со временем регулирования, может быть осуществлено следующим образом. Поскольку определить аналитически матожидание выигрыша как базовой величины в конкретной составной среде для конкретного автомата представляется крайне сложной задачей, то можно в качестве этого базиса использовать значение эффективности некоторого эталонного автомата A_E , работающего в этих же условиях. В качестве эталона можно выбрать, например, автомат с линейной тактикой или автомат, совершающий все свои действия равновероятно (это согласуется с понятием целесообразного поведения). Тогда показатель эффективности T_A текущего автомата будет определяться так:

$$T_A: \varepsilon_A(t) < \varepsilon, \quad t \geq T_A,$$

где

$$\varepsilon_A(t) = \left| \frac{\eta_A(t) - \eta_E(t)}{\eta_E(t)} \right|,$$

а величина ε задана и составляет, например, 10–20%, как в промышленной автоматике.

7. Темперамент и коллективное поведение. Итак, мы нашли условия, при которых становится значимой роль темперамента с точки зрения индивидуального поведения.

Другой аспект этих исследований относится к роевой робототехнике. Одной из целей роевой робототехники является создание группы простых, дешевых роботов, которые могут кооперироваться для совместного решения отдельных задач. В основном в роевой робототехнике действует группа одинаковых индивидуумов или агентов. Однако иногда успешное решение задачи требует группы роботов с различной физиологической организацией: меланхолической, холерической, сангвинистической и флегматичной. Один робот быстро принимает решения, а другой глубоко анализирует, один быстро реагирует на изменения окружающей среды, а другой характеризуется стабильностью и терпением. Это особенно важно в случае сложной окружающей среды с неопределенными или неизвестными свойствами. Между прочим, выполнение описанных экспериментов подтвердило целесообразность использования набора роботов. Гораздо проще и правильнее оценивать поведение роботов, сравнивая их между собой.

Следующий пример — колония муравьев, любимый объект роевой или групповой робототехники. У животных, живущих группами, таких, как муравьи, разделение труда или профессиональных обязанностей зависит от их индивидуальных характеристик, их психологии или физиологии. И эти индивидуальные характеристики могут быть определены в терминах темперамента. Некоторые технические аспекты разделения труда обсуждаются в [23], но основное внимание там сосредоточено на обучении в коллективном поведении. Особенностью исследований в области роевой робототехники является то, что здесь основное внимание уделяется механизмам взаимодействия роботов, а не их индивидуальным характеристикам и физиологическим чертам. Например, в [24] показано, что робототехнические рои способны исследовать неизвестную окружающую среду без наличия априорных предварительных знаний о ней. Тем не менее, в различных средах с неизвестными характеристиками специфические черты поведения роботов выходят на первый план. В первую очередь это проблема особенности реакций роботов на внешние раздражители. Эти аспекты удобно описываются в терминах эмоций и темперамента.

Попробуем обосновать эти достаточно очевидные и интуитивно понятные рассуждения, используя более формальный подход. Итак, рассмотрим вопрос о применимости автоматных моделей к описанию коллективного поведения группы различных по своему поведению автоматов (роботов, агентов). Коллективная организация характеризуется тем, что члены группы как минимум выполняют некоторую согласованную работу и имеют некую общую цель.

Рассмотрим задачу, связанную с разделением труда. Речь идет о ситуации, когда имеется некоторая сложная задача, состоящая из множества различных по своему характеру подзадач. Причем для выполнения этих подзадач одни агенты являются более приспособленными, а другие — менее. Скажем, в зависимости от их — агентов — темперамента. Вопрос заключается в том, как распределить множество различных по своему характеру агентов между этими задачами так, чтобы общий выигрыш был максимален, т.е. чтобы была достижима общая цель.

При такой постановке наша задача сводится к некоторой игре в размещения. Пусть имеется m кормушек. Каждой из них соответствует своя сложная среда. Задача сводится к распределению автоматов A_i по кормушкам с максимизацией общего выигрыша (игра с общей кассой). Важно, что разные по темпераменту автоматы (агенты) по-разному ведут себя в этих средах. Существует среда, наиболее благоприятная для флегматика, сангвиника, холерика и даже меланхолика. Каждая среда — это своя задача.

Более формально задача может выглядеть так. Пусть имеется множество игроков — автоматов A_i , $i = \overline{1, n}$. В отличие от [21] зададим игру в виде множества $E = \{E_1, E_2, \dots, E_m\}$, где каждый элемент множества представляет собой пару $E_i = (K_i, w_i)$. Здесь K_i — составная среда, а величина w_i — это мощность среды, т.е. некий ресурс, который будет делиться между игроками, выбравшими эту стратегию i (ресурс кормушки).

Будем полагать, что $n > m$. Каждый автомат в каждый момент времени работает в какой-либо из этих сред (погружен в среду или настроен на нее). Причем в среде E_i может находиться несколько автоматов. Очевидно, что выигрыш автомата зависит не только от выбранной им среды, но и от того, насколько каждый автомат эффективен в этой среде, т.е. от того, насколько автомат соответствует ей.

Игра заключается в распределении автоматов по средам E_i так, чтобы максимизировать общий выигрыш. Это — типичная игра с общей кассой. Она весьма созвучна задаче Цетлина и Гинзбурга о распределении вычислительных ресурсов [21], однако при этом подразумевалось, что среда $E = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$, т.е. представляет собой составную среду. Предложенного формализма достаточно для того, чтобы получить численное решение задачи о распределении автоматов по кормушкам, которые представлены составными средами.

Разумеется, рассмотренная модель не может не быть ограниченной. Например, когда мы говорим не об абстрактных агентах, а о реальных роботах, то подразумевается, что действия робота оказывают влияние на среду, в которой этот робот пребывает. В этом смысле действия автомата должны были бы, в общем случае, инициировать переключение сред, т.е. свойства среды должны быть не постоянны, а зависеть от поведения агента-автомата. Конечно, в каком-то смысле распределение автоматов по задачам приводит к перераспределению ресурсов кормушек, однако такое влияние не может считаться исчерпывающим.

Итак, предложенная автоматная модель показывает, что, во-первых, различные по своему темпераменту агенты (автоматы) имеют различные показатели качества в тех или иных средах. И, во-вторых, эта модель позволяет достаточно адекватно описать ситуацию с распределением ролей в коллективе роботов в зависимости от их характера поведения. Это в свою очередь позволяет сделать вывод о важности роли темперамента для задач организации коллективной работы роботов.

Заключение. Основная цель исследований заключалась в разработке и проверке моделей эмоционального и темпераментного поведения роботов. Было показано, что эти биологические инспирированные феномены могут быть реализованы достаточно простыми и естественными способами. Это важный аспект для роевой робототехники, в которой особи обычно имеют ограниченные когнитивные способности. Например, возможностей микроконтроллера ATmega88 достаточно для реализации всех описанных механизмов. А общая стоимость робота, обладающего темпераментом, составляет около 100 долл. (вместо 450 долл. на одного робота в [24]).

Необходимо подчеркнуть, что проведенные эксперименты носят в основном качественный и иллюстративный характер. Статистическая обработка результатов, факторный анализ, выявление ошибок, зависимостей и пр. — предмет дополнительных исследований. Это связано с тем,

что в некотором смысле мы имеем дело с “психическими” или “ментальными” процессами, в основе изучения которых лежат наблюдения и, в особенности, качественные и грубые оценки.

Тем не менее, нельзя не отметить один важный момент. Действительно, мы можем описывать поведение робота в терминах систем управления, таких, как регуляторы, временные задержки, коэффициенты обратной связи и т.д. Но лучше всего для определения особенностей и характеристик поведения роботов подходят такие термины, как эмоции, темперамент и т.п. В этом случае можно построить более объективные и содержательные модели. Еще раз подчеркнем, что языком физиологии описывать поведение робота удобнее и легче. Например, этот подход активно применяется для “машинок” Брайтенберга [2], в роевой робототехнике [9] и даже в так называемой ВЕАМ-робототехнике (если, разумеется, знать меру и избегать явных спекуляций и жонглирования терминами).

Предложенная автоматная модель темперамента тоже может считаться в каком-то смысле оценочной. Эта модель позволяет определять основные, качественные и количественные параметры состава группы роботов для коллективного решения комплексных задач. Доработка автоматной модели, ее более глубокие содержательные интерпретации – задача дальнейших исследований.

В дополнение к эмоциям и темпераменту существуют решения ряда других задач, связанных с имитацией физиологических процессов и феноменов. Например, некоторые частные механизмы лидерства и самосознания в роевой робототехнике обсуждались в [8]. Эти механизмы применялись для решения таких типичных задач роевой робототехники, как стайное поведение.

Основная цель будущих исследований в этой области – объединение частных моделей в единой системной архитектуре. Возможно, это позволит усилить поведенческие и когнитивные способности роботов и откроет новые пути создания групп эффективно взаимодействующих между собой роботов, осуществив переход от роя к команде и коллективу роботов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Evans D.* Can Robots have Emotions? // *Psychology Review*. 2004. V. 11. № 1. P. 2–5.
2. *Braitenberg V.* *Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology*. Cambridge, MA: MIT Press, 1984.
3. *Breazeal C., Brooks R.* Robot Emotion: A Functional Perspective // *Who Needs Emotions? The Brain Meets the Robot*, Eds. J. Fellous and M. Arbib. Oxford University Press, 2005. P. 271–310.
4. *Hirth J., Berns K.* Motives as Intrinsic Activation for Human-robot Interaction // *IEEE/RSJ Intern. Conf. on Intelligent Robots and Systems*. Acropolis Convention Center. Nice, France, 2008. P. 773–778.
5. *Buiu C., Popescu N.* Aesthetic Emotions in Human-Robot Interaction. Implications on Interaction Design of Robotic Artists // *Intern. J. Innovative Computing, Information and Control*, 2011. V. 7. № 3. P. 1097–1108.
6. *Hollinger G.A., Georgiev Y., Manfredi A., Maxwell B. A., Pezzementi Z.A., Mitchell B.* Design of a Social Mobile Robot Using Emotion-Based Decision Mechanisms // *Proc. IEEE/RSJ Intern. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS 2006)*. Beijing, China, 2006. P. 3093–3098.
7. *Garnier S., Jost C., Jeanson R., Gautrais J., Asadpour M., Caprari G., Theraulaz G.* Collective Decision-making by a Group of Cockroach-like Robots // *Proc. Swarm Intelligence Symp.* Los Alamitos, 2005. P. 233–240.
8. *Карпов В.Э.* Частные механизмы лидерства и самосознания в групповой робототехнике // *Тр. XIII нац. конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2012*. Т. 3. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. С. 275–283.
9. *Kuremoto T., Obayashi M., Kobayashi K., Feng L.* *Autonomic Behaviors of Swarm Robots Driven by Emotion and Curiosity*. Lecture Notes in Bioinformatics (LNBI). V. 6330. Springer-Verlag, 2010. P. 541–547.
10. *Карпов В.Э.* Эмоции роботов // *Тр. XII нац. конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2010*. Т. 3. М.: Физматлит, 2010. С. 354–368.
11. *Симонов П.В.* Потребностно-информационная теория эмоций // *Вопросы психологии*. 1982. № 6. С. 44–56.
12. *Simonov V.P.* Thwarted action and need – informational theories of emotions // *Int. J. Comparative Psychology*. 1991. V. 5. № 2.
13. *Павлов И.П.* *Общие типы высшей нервной деятельности животных и человека*, (переиздание). М.: Директ-Медиа, 2008. 50 с.
14. *Ruch W.* Pavlov's Types of Nervous System, Eysenck's Typology and the Hippocrates-Galen Temperaments: an Empirical Examination of the Asserted Correspondence of Three Temperament Typologies // *Personality and Individual Differences*. 1992. V. 13. № 12. P. 1259–1271.
15. *Barteneva D., Lau N., Reis L.P.* A Computational Study on Emotions and Temperament in Multi-Agent Systems // *Proc. AISB'07: Artificial and Ambient Intelligence*. Newcastle, GB. 2008. P. 64–71.

16. *Keltner D., Gruenfeld D.H., Anderson C.* Power, Approach, and Inhibition // *Psychological Review*. 2003. № 110. P. 265–284
17. *Schrobsdorff H., Ihrke M., Behrendt J., Hasselhorn M., Herrmann J.M.* Inhibition in the Dynamics of Delective Attention: an Integrative Model for Negative Priming // *Front Psychol*. 2012. V. 3. № 491.
18. *Enpsychopedia*. Transmarginal Inhibition, 2008. URL: http://enpsychopedia.org/index.php?title = Transmarginal_Inhibition.
19. *Павлов И.П.* Лекции о работе больших полушарий головного мозга. Изд. 5, испр. М.:URSS, 2010. 296 с.
20. *Okun M., Lampl I.* Balance of Excitation and Inhibition. *Scholarpedia*, 2009. 4(8):7467. URL: http://www.scholarpedia.org/article/Balance_of_excitation_and_inhibition.
21. *Цетлин М.Л.* Исследования по теории автоматов и моделированию биологических систем. М.:Наука, 1969. 316 с.
22. *Варшавский В.И., Поспелов Д. А.* Оркестр играет без дирижера: размышления об эволюции некоторых технических систем и управлении ими. М.: Наука. Физматлит, 1984. 208 с.
23. *Labella T.H., Dorigo M., Deneubourg J-L.* Division of Labour in a Group of Robots Inspired by Ants' Foraging Behaviour. Technical Report № TR/IRIDIA/2004-013. Universite Libre de Bruxelles, 2006.
24. *Hecker J., Letendre K., Stolleis K., Washington D., Moses M.* Formica ex Machina: Ant Swarm Foraging from Physical to Virtual and Back Again. *ANTS*, V. 7461. Lecture Notes in Computer Science. Springer-Verlag, 2012. P. 252–259.