Биологически инспирированное техническое зрение в системах автономного искусственного интеллекта

А.А. ЖДАНОВ
профессор, д.ф.-м.н.

Институт точной механики и вычислительной техники им. С.А. Лебедева (ИТМиВТ), Москва

Autonomous Adaptive Control Lab (AAC Lab)

aazhdanov@ipmce.ru
http://www.ipmce.ru
http://www.aac-lab.com

План

1. Неизбежность появления адаптивных машин
2. Метод Автономного Адаптивного Управления (ААУ)
3. Зрение в биологических и бионических системах управления
4. Демонстрация объектов с ААУ

1. Неизбежность появления адаптивных машин

- Создавая техногенную среду, мы повторяем – переоткрываем и воспроизводим многие «изобретения» природы.

- Следовательно, «бионическое» направление в технологиях очень важно.

Основные вклады науки в технологию

1. Количество (до XIX века)
2. Качество (XIX век)
3. Оптимальность (XX век)
4. Что дальше? - Адаптивность (XXI век)

Адаптивность (динамическая оптимизация) с неизбежностью должна стать следующим шагом современной науки и технологии.

Должен появиться новый вид объектов - адаптивные машины.

Адаптивные машины постоянно осуществляют оптимизацию в режиме реального времени в изменяющихся условиях.

Адаптивность в природе

В природе мы видим, что <u>все</u> объекты адаптивны, благодаря чему умеют решать самые сложные задачи управления: пилотирование, ходьба, балансировка, общение, погоня, навигация и т.д., и т.д.

Адаптивность в техносфере

В техносфере мы видим полное отсутствие адаптивных (самоприспосабливающихся) объектов

Наши машины рождаются сразу «взрослыми» и «умными», и в течение жизни ничему не учатся, постепенно разрушаясь

Сегодня адаптивных машин практически нет

Видел ли кто-нибудь, как обучаются роботы?

Никто не видел, так как **роботы не обучаются**, в отличие от живых организмов. Роботы работают по детерминированным программам.

Что такое «адаптивность»

Определение

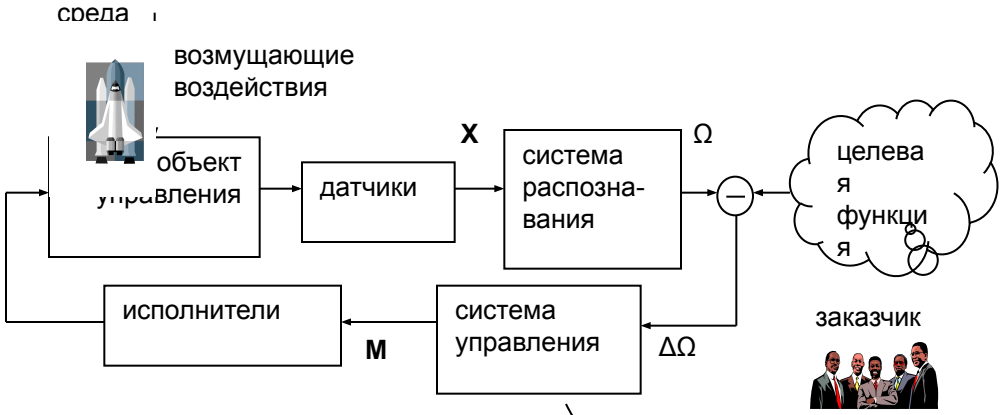
Адаптивностью будем называть способность системы управления автономного объекта добывать знания о свойствах системы «*среда-объект управления-система управления*», накапливать эти знания в своей памяти и использовать эти знания для управления с целью дальнейшего их пополнения и сохранения накопленных знаний путем обеспечения физического выживания объекта, как носителя памяти и средств работы с нею.

Причины отсутствия адаптивных машин сегодня

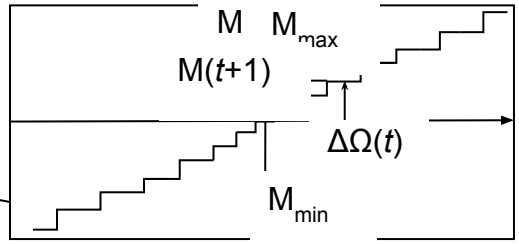
1. Научные причины
2. Технологические причины
3. Психологические причины

Научные причины отсутствия адаптивных машин

В технике сегодня господствуют <u>детерминированные</u> системы управления, основанные на априорной информации и математических моделях объектов



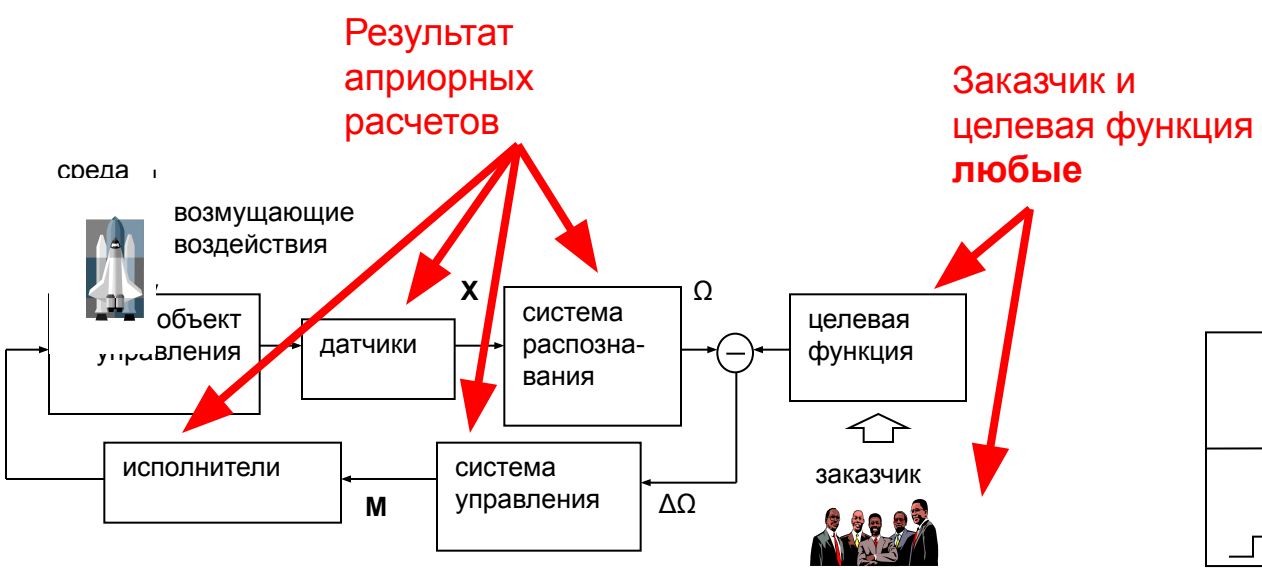
Типовая схема системы управления



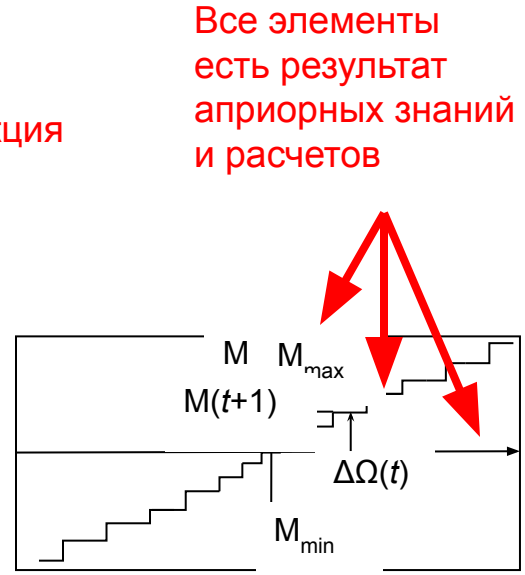
Пример «закона управления»

<u>Детерминированные</u> системы управления –реактивные, не способные к самообучению.

К биологии отношения почти не имеют



Типовая схема системы управления



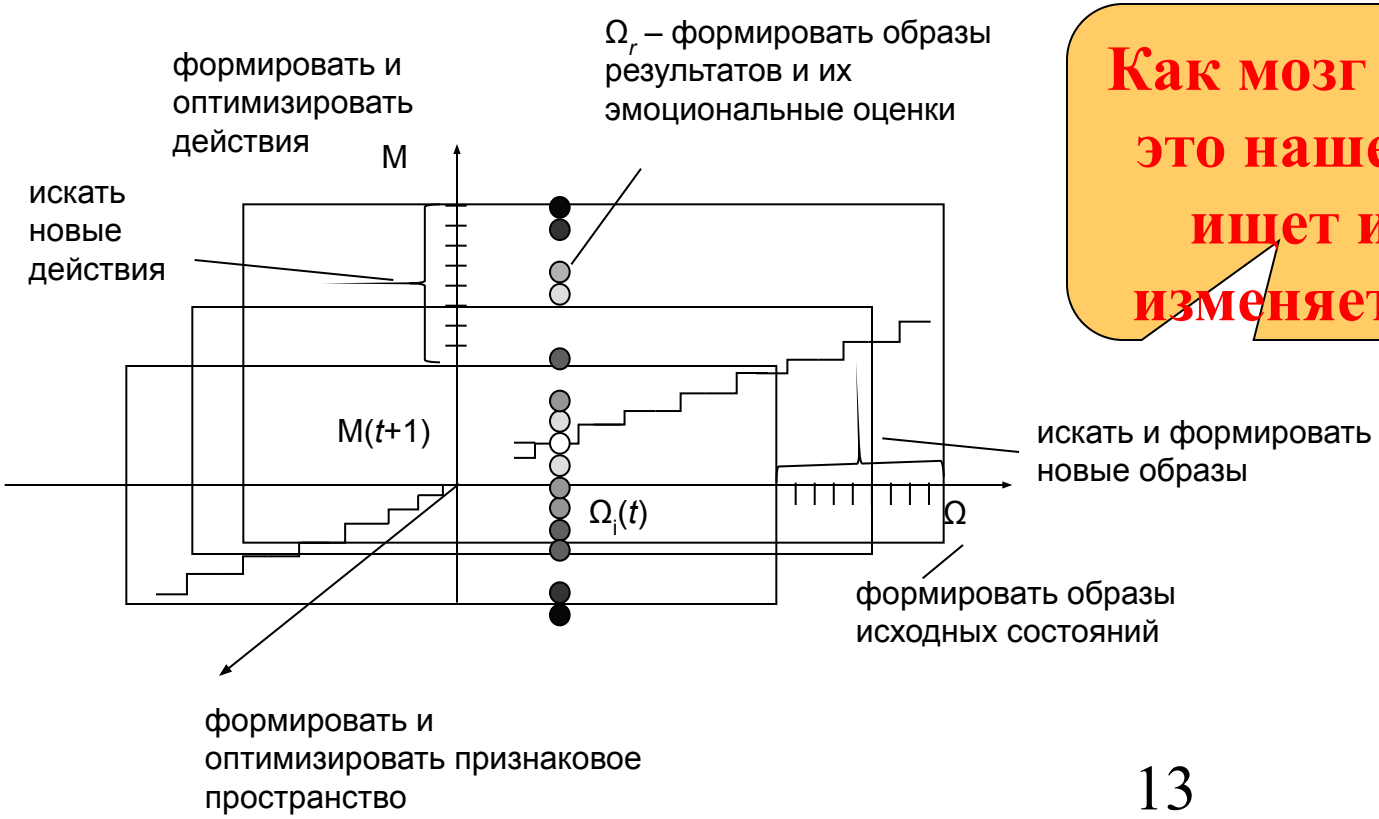
Пример «закона управления»

Основные отличия от мозга:

1. Биологический «заказчик» и объект управления (тело) в Природе – это не разные сущности – это одно и то же. «Заказчик» сидит внутри ОУ и есть сам мозг. Отсюда следует, что важная **целевая функция мозга – это выживание** объекта управления.
2. Мозг не знает изначально и полностью оптимального закона управления, позволяющего выжить, он должен сам найти или уточнить «закон управления». Следовательно, **другая целевая функция - поиск закона управления** – **поиск знаний**. Отсюда следует, что мозг - во многих отношениях есть поисковая система. Свойства и среды и самого тела постоянно изменяются, поэтому поиск знаний должен происходить постоянно, т.е., мозг - система поисковой оптимизации.
3. Среда не есть только источник случайных возмущений, **среда закономерна** и **мозг должен ее понять, чтобы в ней выжить**.
4. Мозг и тело не могут быть неизменными. В результате накопления знаний содержимое памяти, морфология тела и морфология самого мозга **должны изменяться**. В силу ограниченности памяти и поисковых алгоритмов.

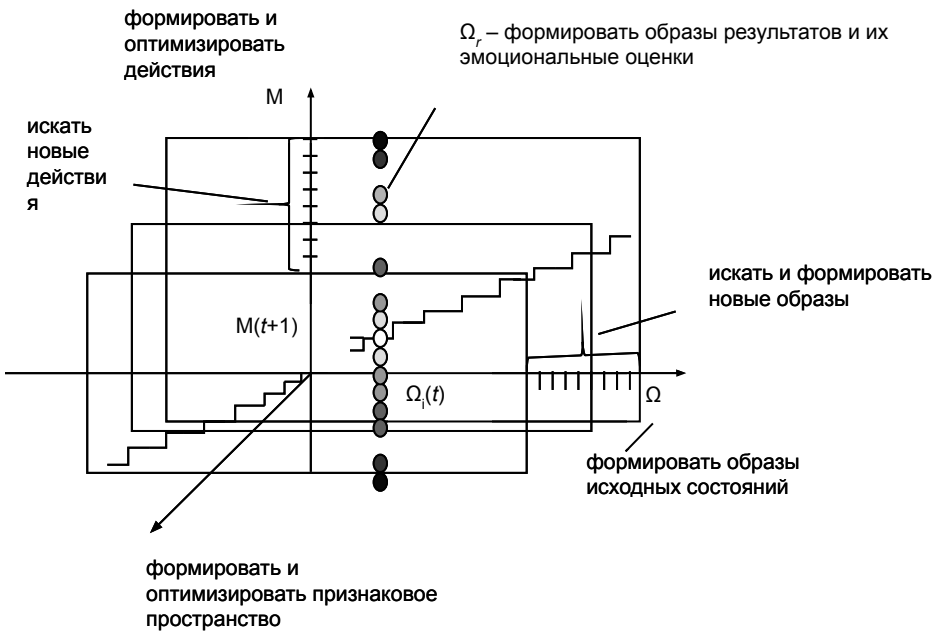
Задача поиска закона управления и принятия решений в общем виде

Все элементы «закона управления» должны быть найдены в процессе филогенеза видом и в процессе онтогенеза – мозгом каждого индивида



Как мозг все это нашел, ищет и изменяет?!

Задача поиска закона управления и принятия решений в общем виде



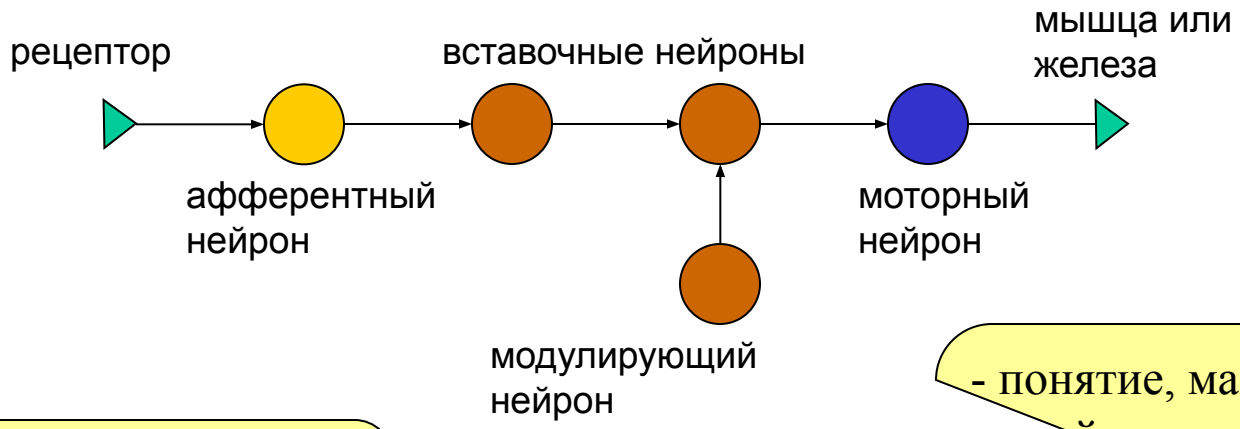
Технических систем управления в таком виде нет ни в теории, ни на практике

(кроме системы ААУ)

Биологам понять принципы работы мозга очень трудно, потому что:

- Мозг, как объект изучения, морфологически очень сложен (10^{11} нейронов, 10^{14} межнейронных связей).
- Без понимания принципов работы с информацией, принципов распознавания, управления, понять работу мозга только с помощью исследования его материальных реализаций, наверное, невозможно.

В биологии господствует понимание процесса управления в виде рефлекторной дуги с модуляцией



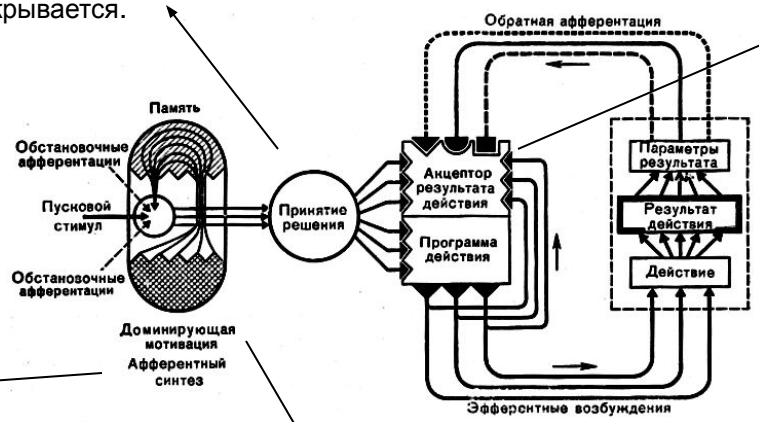
- реактивная схема управления «стимул-реакция»

- понятие, маскирующее целый комплекс сложных проблем целеполагания, самообучения, принятия решений и т.д.

Функциональная система П.К. Анохина (1930-х гг.)

Некоторые понятия ФС сегодня могут быть уточнены и конкретизированы

«Принятие решений» - в теории ФС не раскрывается.



«Акцептор результата действия» - представляется излишним, так как не отличается по функциям от входной системы распознавания.

В схеме ФС отсутствует такая важнейшая подсистема как **База Знаний** – память, в которой накапливается добытая системой управления статистически достоверная информация о причинно-следственных связях в системе «объект-среда».

Понятие **«афферентного синтеза»** раскрывается понятиями из теории систем распознавания образов:

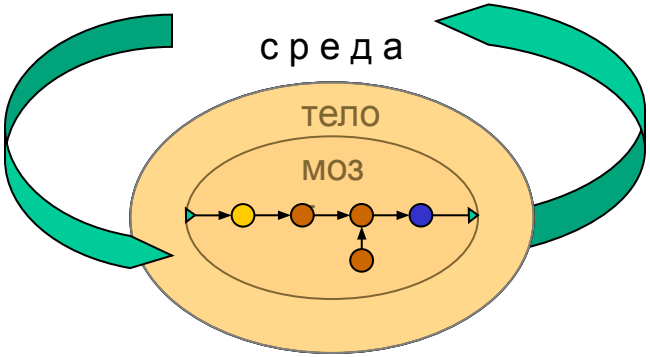
- множество измерителей,
- признаковое пространство,
- рабочий словарь признаков,
- правила формирования образов,
- алфавит классов,
- описание классов на языке признаков,
- решающие правила, а также
- программа управления процессом распознавания.

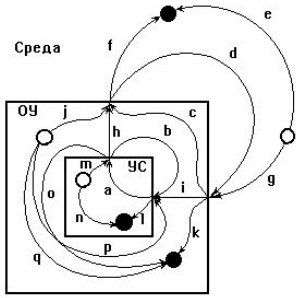
«Доминирующая мотивация» - это текущая возможность (согласно Базе Знаний) вытеснить распознанные образы с наихудшими оценками, либо вызвать распознавание образов с положительными оценками.

Сопоставление системы ААУ с ФС П.К. Анохина, ориентированной на биологические системы, может оказаться весьма полезным, так как может обогатить обе теории.

2. Система Автономного Адаптивного Управления (ААУ) - концептуальная модель мозга

Функция мозга в системе «среда – организм»





Отсюда следуют:

- целевые функции мозга
- перечень решаемых задач
- состав и структура его основных подсистем

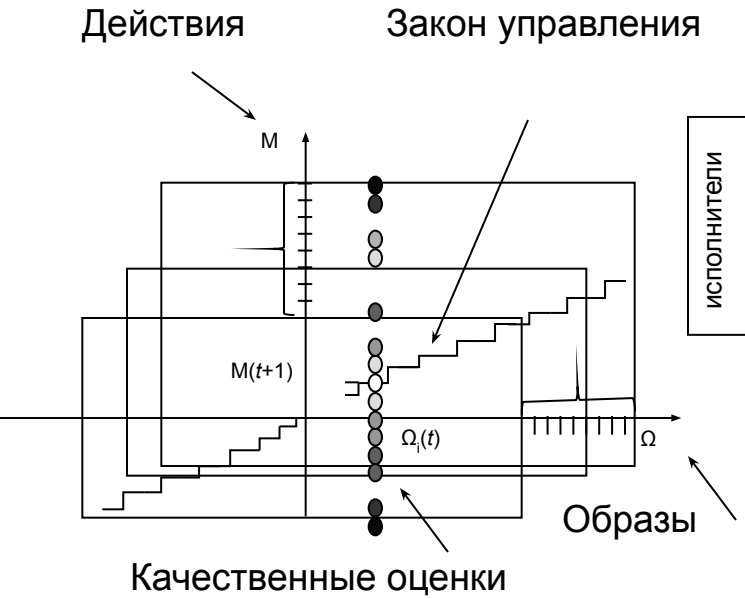
Жданов А.А. Автономный искусственный интеллект. Монография. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008.

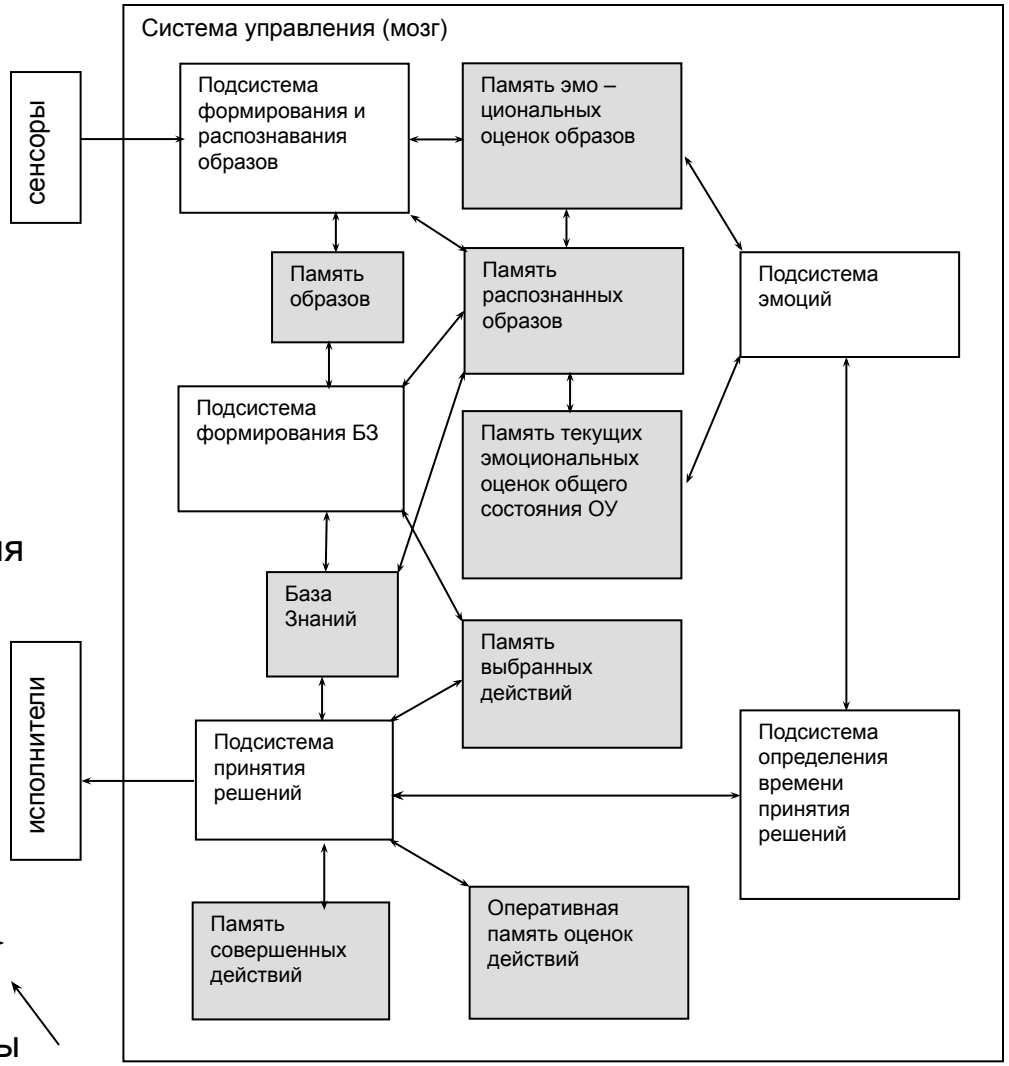
Изд-е 2-е: 2009.

Состав подсистем мозга и их структура

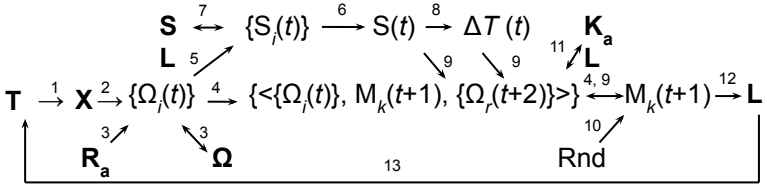
Выделены и смоделированы:

- необходимые функциональные подсистемы мозга
- необходимые виды памяти





Создано формализованное описание работы предложенной модели мозга



Объекты:

T – набор датчиков,

X – вектор входной информации,

$\mathbf{R_a}$ – набор априорных правил формирования образов,

Ω – алфавит классов (память образов),

$\{\Omega_i(t)\}$ – множество распознанных в текущий момент образов,

$\{S_i(t)\}$ – множество эмоциональных оценок распознанных образов,

S – память эмоциональных оценок образов,

$S(t)$ – интегральная эмоциональная оценка текущего состояния,

$\{<\{\Omega_i(t)\}, M_k(t+1), \{\Omega_r(t+2)\}>\}$ - База Знаний,

$\Delta T\ (t)$ – интервал времени на принятие решения,

$M_k(t+1)$ – принятое решение – управляющее воздействие,

$\mathbf{K_a}$ – набор априорных правил формирования знаний,

Rnd – генератор случайных воздействий, необходимый для обеспечения поиска,

L – исполнительные устройства.

Операции:

1 – измерения и перевод физических воздействий в цифровой вид,

2 – распознавание образов,

3 – формирование новых образов – алфавита классов,

4 – формирование Базы Знаний,

5 – извлечение из памяти эмоциональных оценок распознанных образов,

6 – вычисление интегральной эмоциональной оценки текущего состояния объекта управления,

7 – обмен информацией с памятью эмоциональных оценок образов,

8 – вычисление времени, отведенного на принятие решения,

9 – принятие решения,

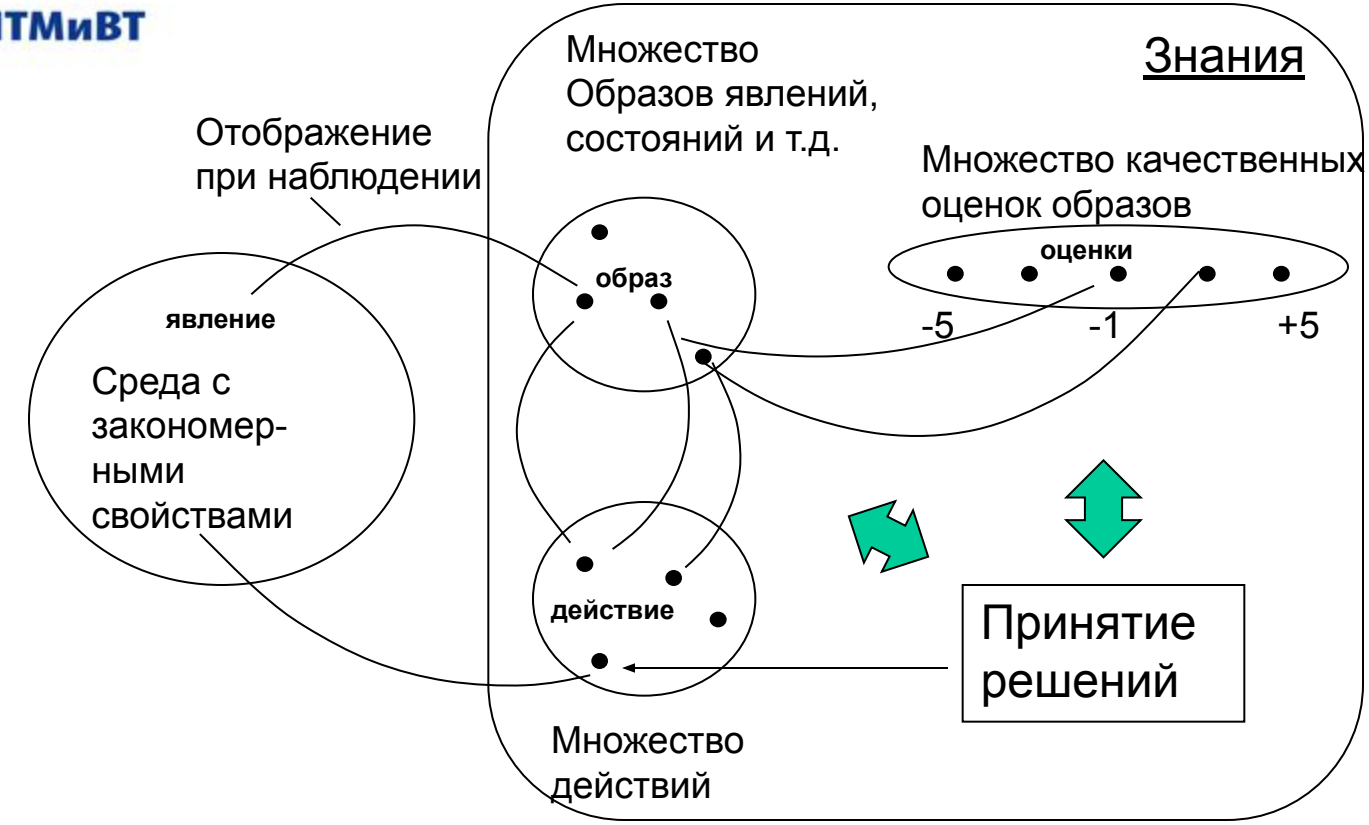
10 – использование генератора случайных воздействий при необходимости выбора из равнозначных вариантов,

11 – формальный вывод новых знаний по БЗ и на основе набора априорных правил формирования знаний,

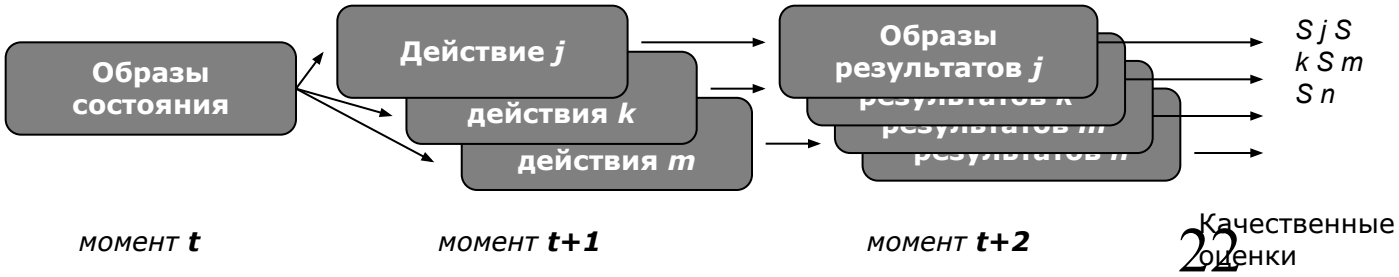
12 – передача принятого решения исполнительным устройствам,

13 – обратная связь от исполнительных устройств к датчикам через тело объекта управления и окружающую среду.

Идея адаптивного управления

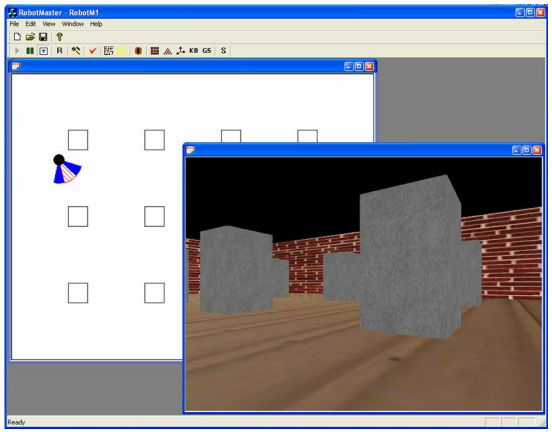


Не аналитические модели ОУ, а эмпирически найденные отображения между дискретными множествами информационнных объектов



3. Машинное зрение

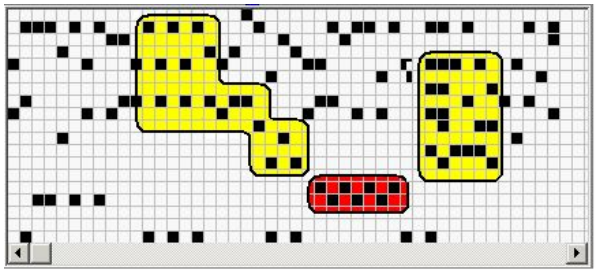
– отображение явлений, необходимых для принятия решений
– самообучаемая система распознавания образов



Разные живые организмы видят одну и ту же сцену по-разному. «Правильное» восприятие – то, которое позволяет эффективно управлять.

так удобно видеть человеку
так удобно видеть математику
так удобно видеть роботу

y=dx/dt



Множества образов, сформированных в разных головах, но представленных одинаковыми нервными импульсами.

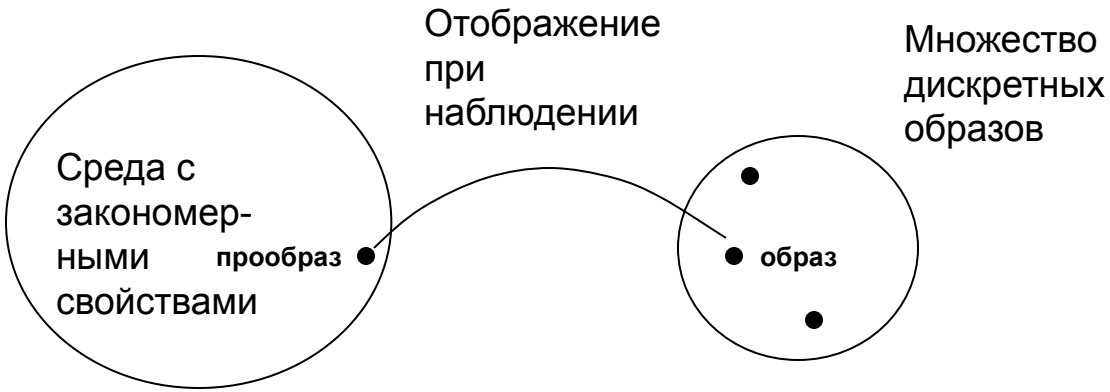
Реальность $\otimes$ Аппаратная функция = Множество образов

$$\Omega(\Omega_1, \Omega_2, \ldots, \Omega_N)$$

Правило формирования образов – выявление неслучайных, повторяющихся явлений, либо явлений, связанных с сильной эмоцией

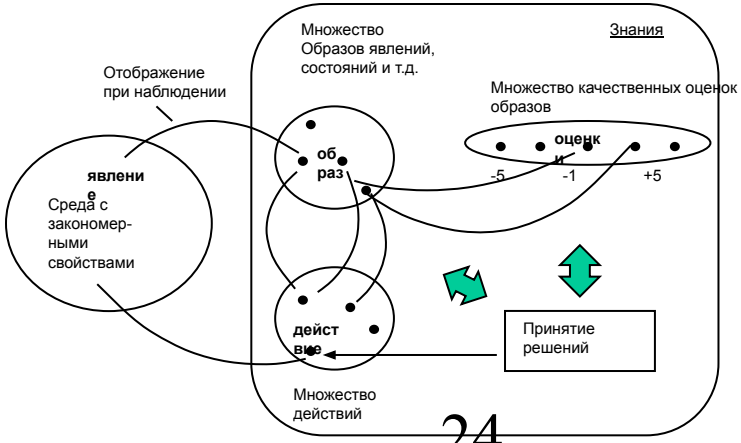
Память образов – алфавит классов

Машинное зрение – отображение явлений, необходимых для принятия решений

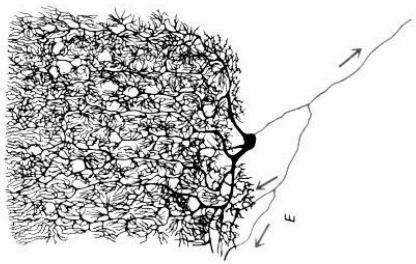


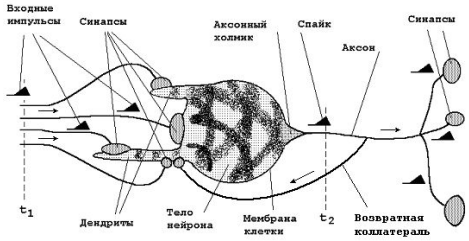
Образ & Действие → **Образы закономерного результата** → **Эмоциональная оценка**

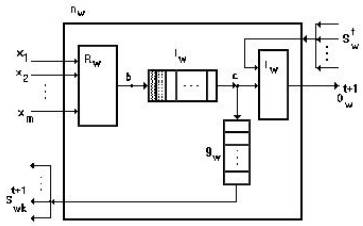
«Правильность» образов, действий и оценок проверяется возможностью их использования для управления

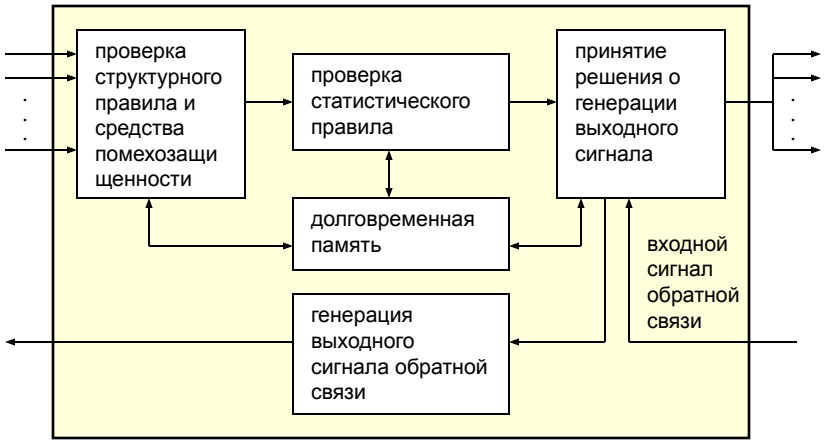


Принципы реализации основных подсистем системы ААУ на основе нейронных элементов и структур









Модель нейрона в методе ААУ в общем виде

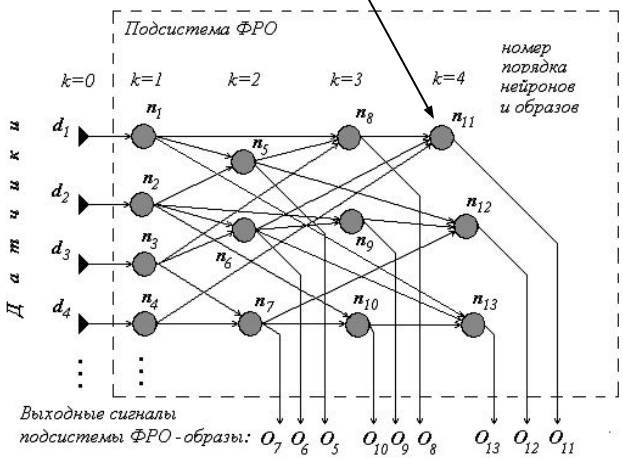
<u>Предложены и смоделированы</u>:

- модель нейрона
- свойства сетей из таких нейронов
- способы построения всех подсистем из таких нейронов

Нейрон понимается нами не как пороговый сумматор, а как элементарная **самообучаемая система распознавания**

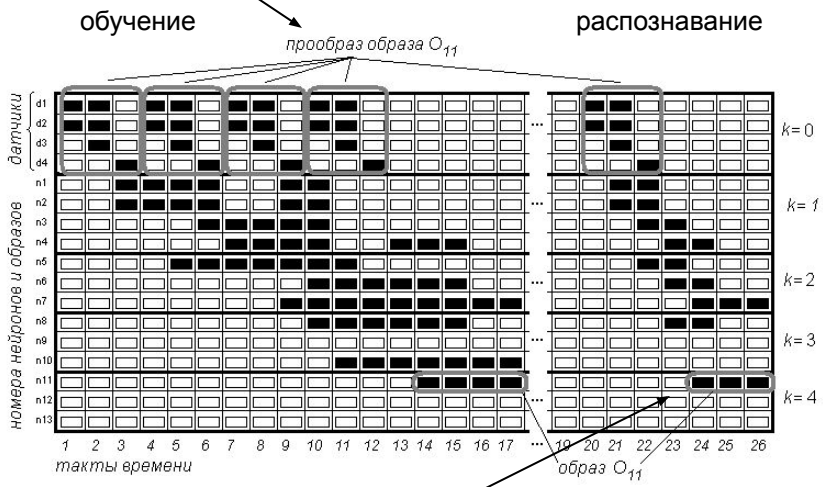
Свойства самообучаемой системы распознавания образов на основе моделей нейронов в методе ААУ

Нейрон, отвечающий за образ конкретного явления



Датчики, вместе с прилегающей к ним сетью нейронов, составляют систему распознавания

прообраз образа

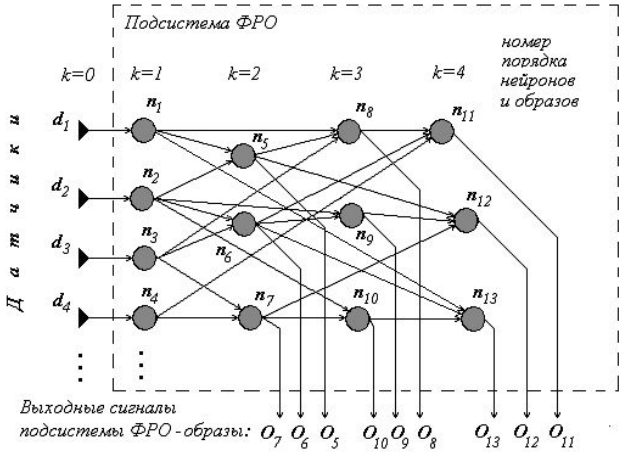


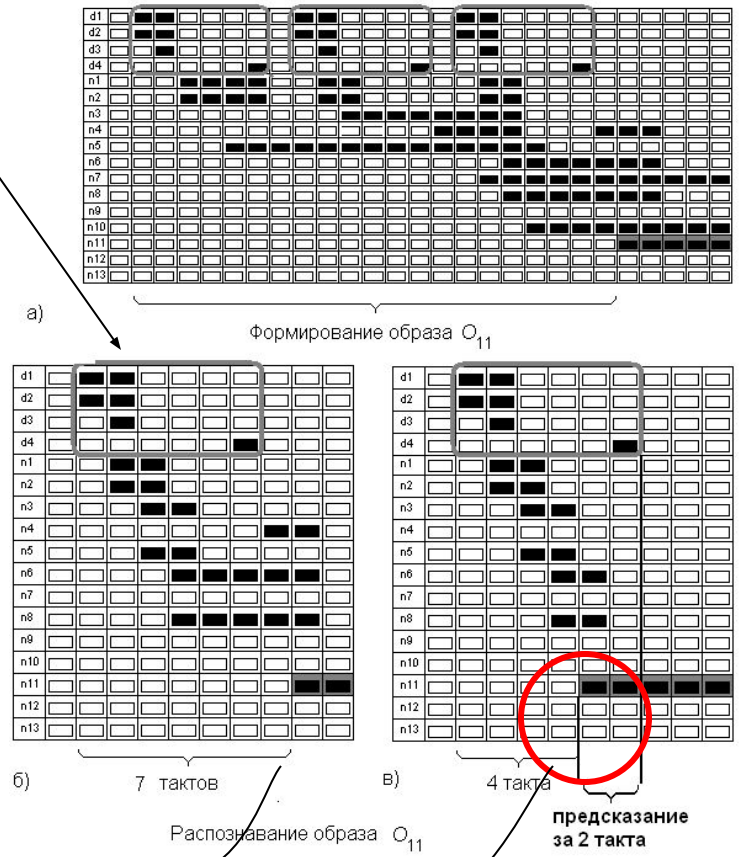
образ

Пример работы фрагмента сети подсистемы формирования и распознавания образов

Пример упреждающего распознавания образа – эффект предсказания

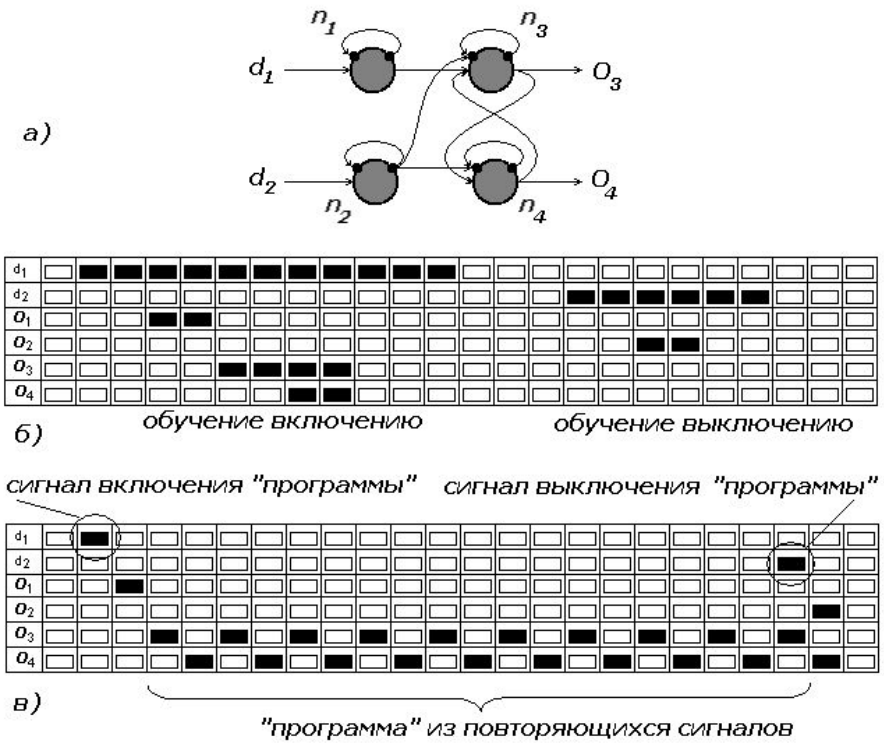
прообраз протяженного явления





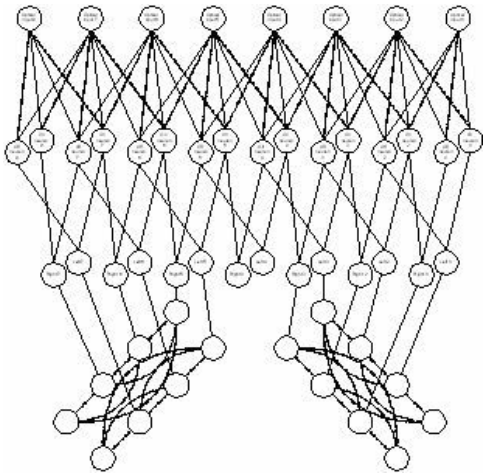
образ явления распознался раньше его окончания – с предсказанием

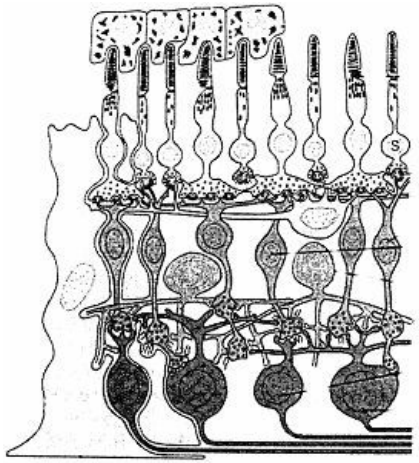
Модель работы мозга – система «Автономного Адаптивного Управления»



Пример обучения, запуска и останова программы, управляющей периодическим процессом – например, ходьбой.

Самообучаемая распознающая нейроноподобная система мобильного робота Гном №9 состоит из 3-х слоев нейронов ААУ и моделирует 3-слойную сеть сетчатки глаза

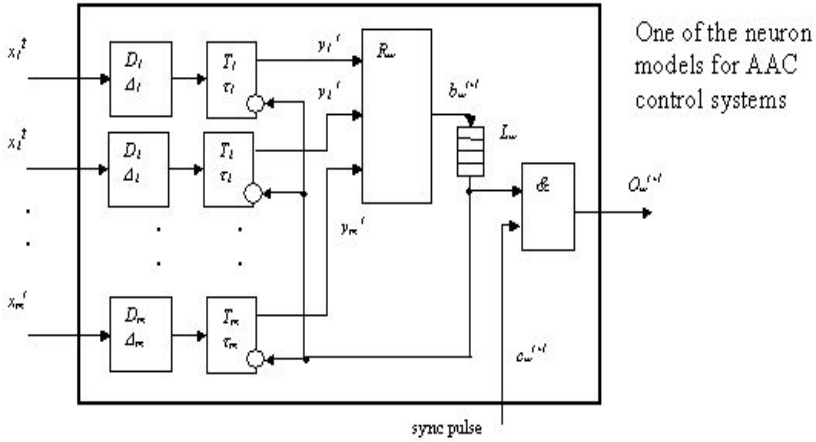




Самообучаемый мобильный робот Гном №9 (внизу слева)

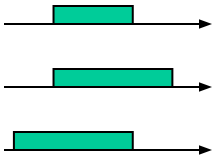
Самообучаемая система распознавания мобильного робота «Гном №9» самостоятельно формировала образы разных типов препятствий: «стенка», «край стенки слева», «край стенки справа», «ворота» и т.п. И затем распознавала их.

Учет синаптических задержек в модели нейрона

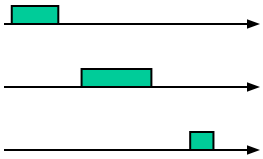


Образы пространственно-временных явлений

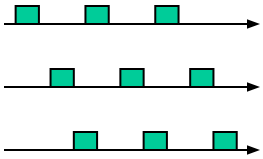
Прообраз пространственного явления



Прообраз причинно-следственного явления



Прообраз периодического явления

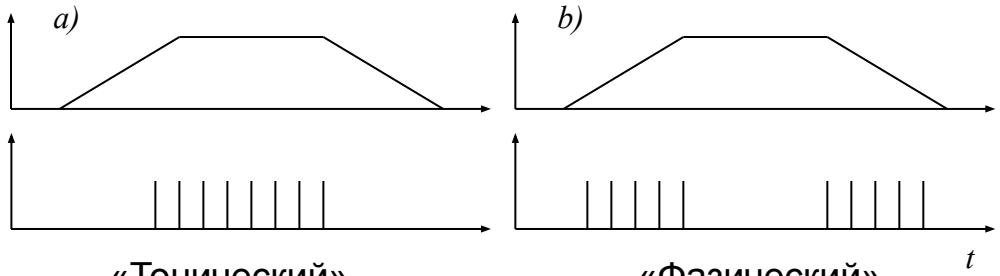


время

Биологические сенсоры

Внешнее раздражение

Импульсация клетки

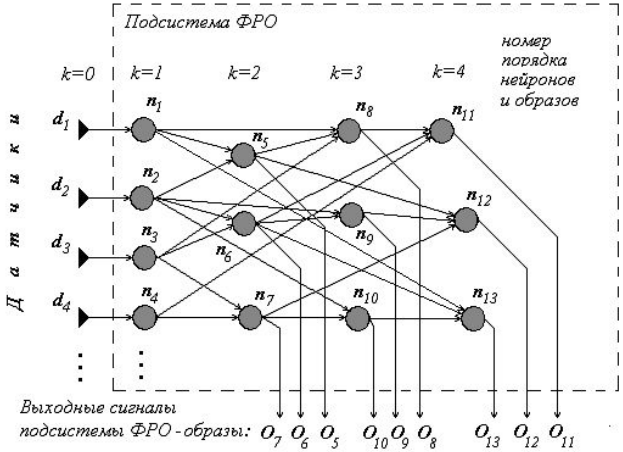


«Тонический» рецептор

«Фазический» рецептор

регистрируют x(t)

регистрируют dx(t)/dt



Производные более высоких порядков рецепторные клетки регистрировать не могут, так как у них нет достаточной памяти. Поэтому более высокие производные «вычисляются» последующими нейронами.

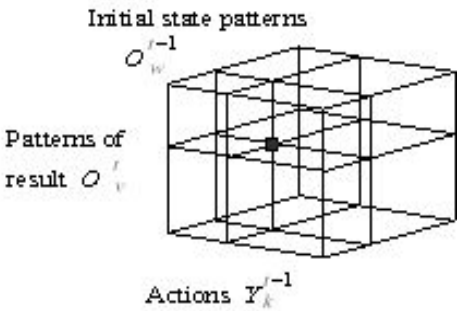
Такая сеть нейронов может распознать образы очень сложных явлений.

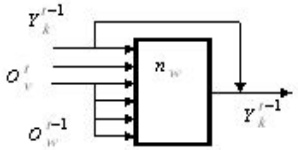
Датчики, вместе с прилегающей к ним сетью нейронов, составляют систему распознавания

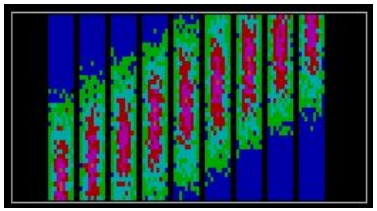
Все подсистемы системы ААУ (т.е., весь мозг) могут быть построены на «логическом базисе» разработанной модели нейрона и синапсов

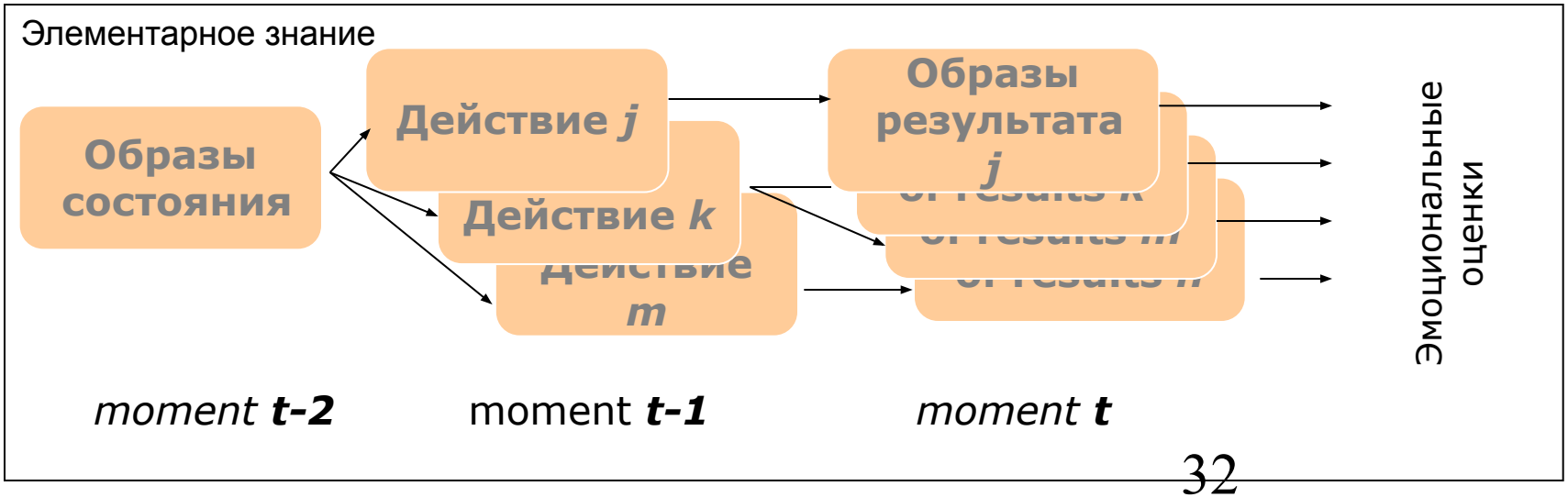
Это самообучаемые подсистемы: распознавания, база знаний, аппарат эмоций, подсистема принятия решений и некоторые другие.

База Знаний



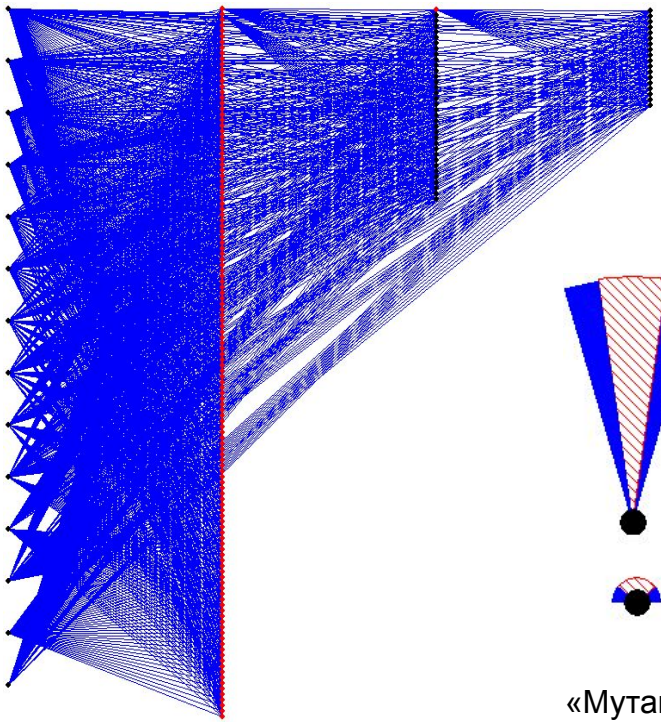


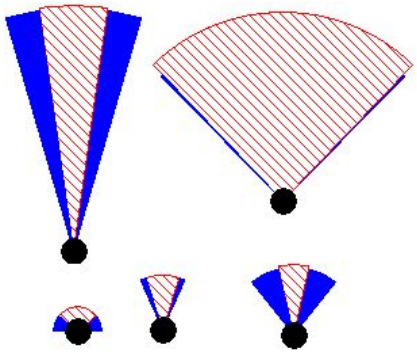




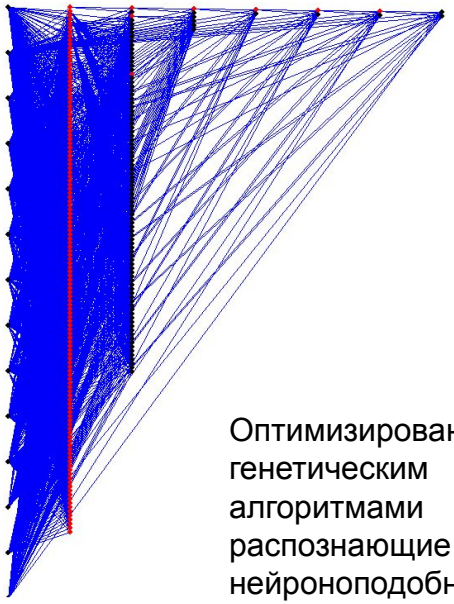
Оптимизация нейроноподобных подсистем с помощью генетических алгоритмов

Разработанная методика оптимизации основных подсистем на основе генетических и других алгоритмов частично воспроизводит оптимизацию в филогенезе и онтогенезе





«Мутации» полей зрения визуальных датчиков мобильного робота в процессе оптимизации



Оптимизированные генетическим алгоритмами распознающие нейроноподобные сети мобильного робота

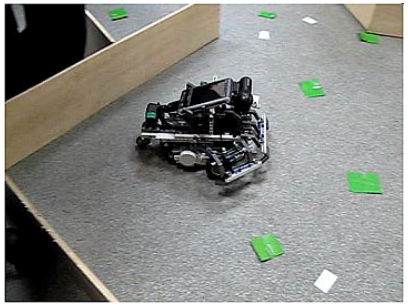
4. Примеры прототипов прикладных адаптивных систем на основе метода ААУ

- машины с искусственными нервными системами

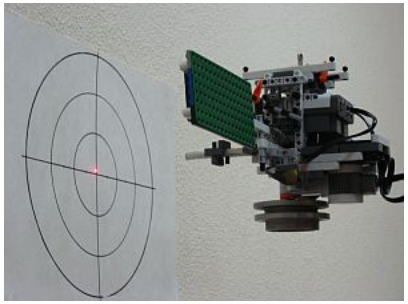
Модель работы мозга – система «Автономного Адаптивного Управления»

Примеры моделей адаптивных машин

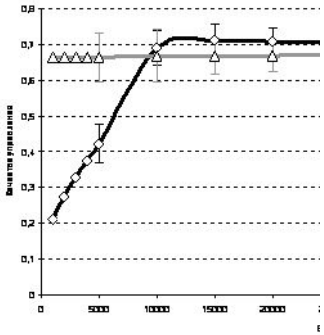
Разработаны программные и физические модели машин с адаптивными системами управления (искусственными нервными системами) на основе метода ААУ

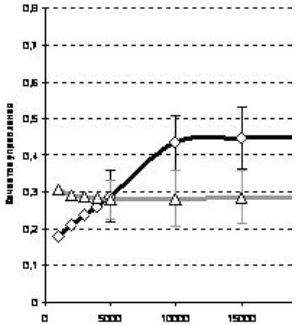


Адаптивный мобильный робот, способный самообучаться безаварийному движению в среде и выполнению полезной работы – сборке определенного мусора



Адаптивный наноспутник, способный самообучаться управлению своим телом (учится стабилизироваться в пространстве)

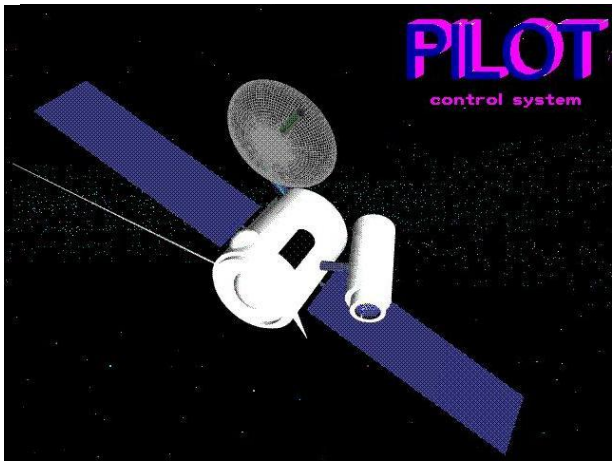




Все такие машины демонстрируют различные свойства, подобные живым организмам

Russian Space Agency

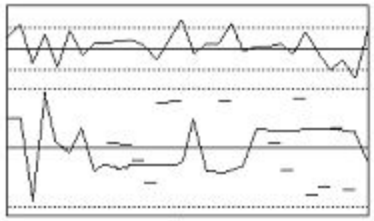
“ PILOT ” System - the adaptive system of angular motion stabilization of space satellite



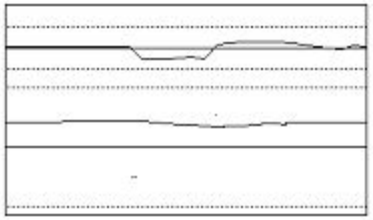
The control quality increases as the Knowledge Base accumulates the empirical knowledge

Controlled Process

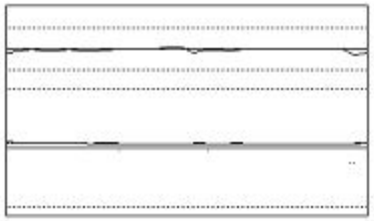
Empirical Knowledge Base



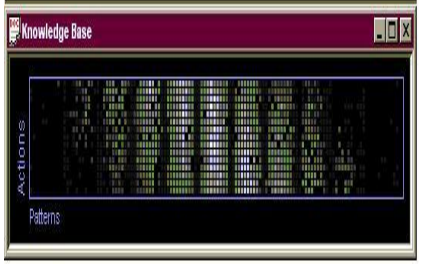
a bad quality control



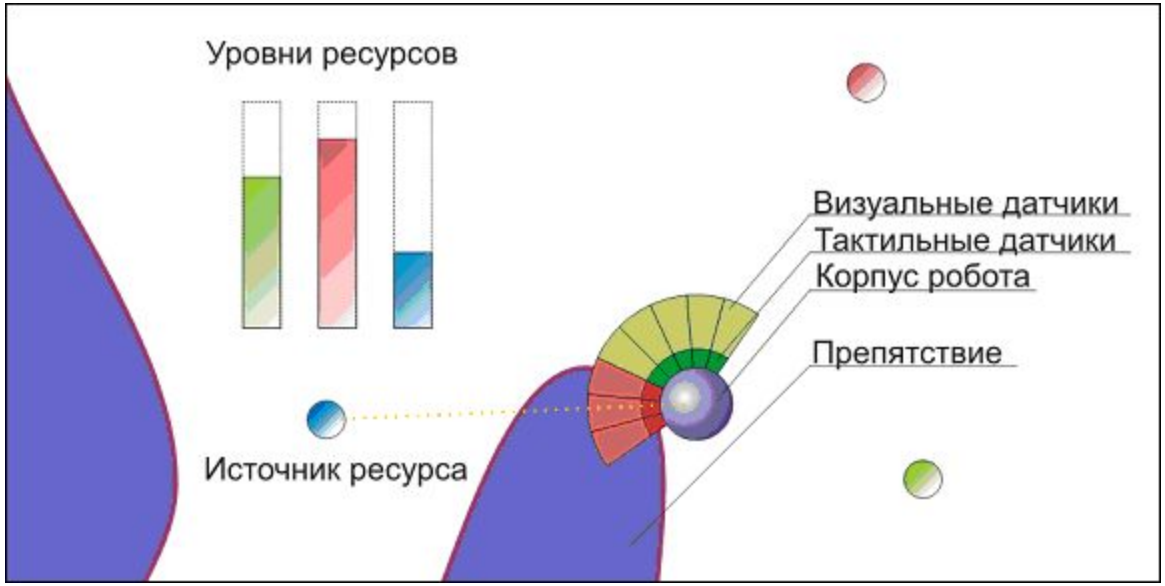
a middle quality control

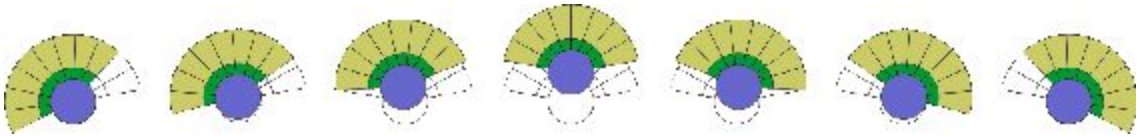


a good quality control



Компьютерная модель мобильного робота с 3-уровневой системой автономного адаптивного управления





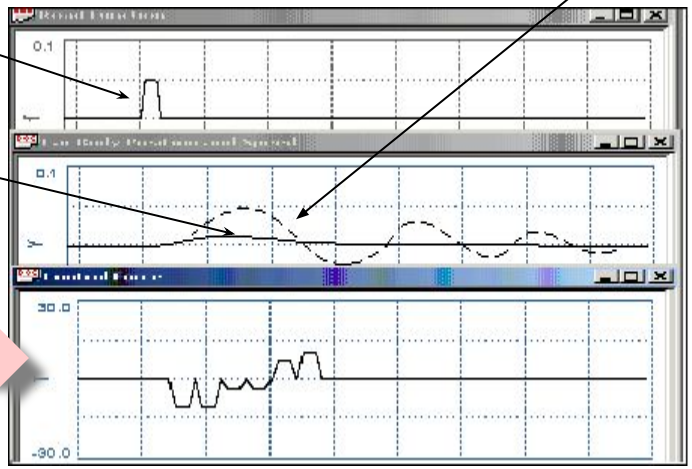
ATS APS
ISP RAS

“AdCAS” System – Adaptive Control of Active Car Suspension

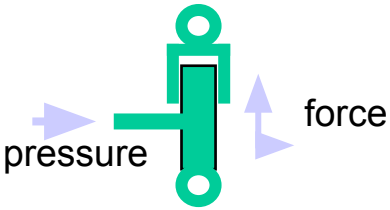
Obstacle on the road

Smooth motion of the car body under control

Without control



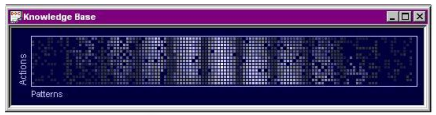
Active high pressure shock absorber



or shock absorber with magneto-reologic al fluid (MRF)

Control pulses to actuator

Empirical Knowledge Base



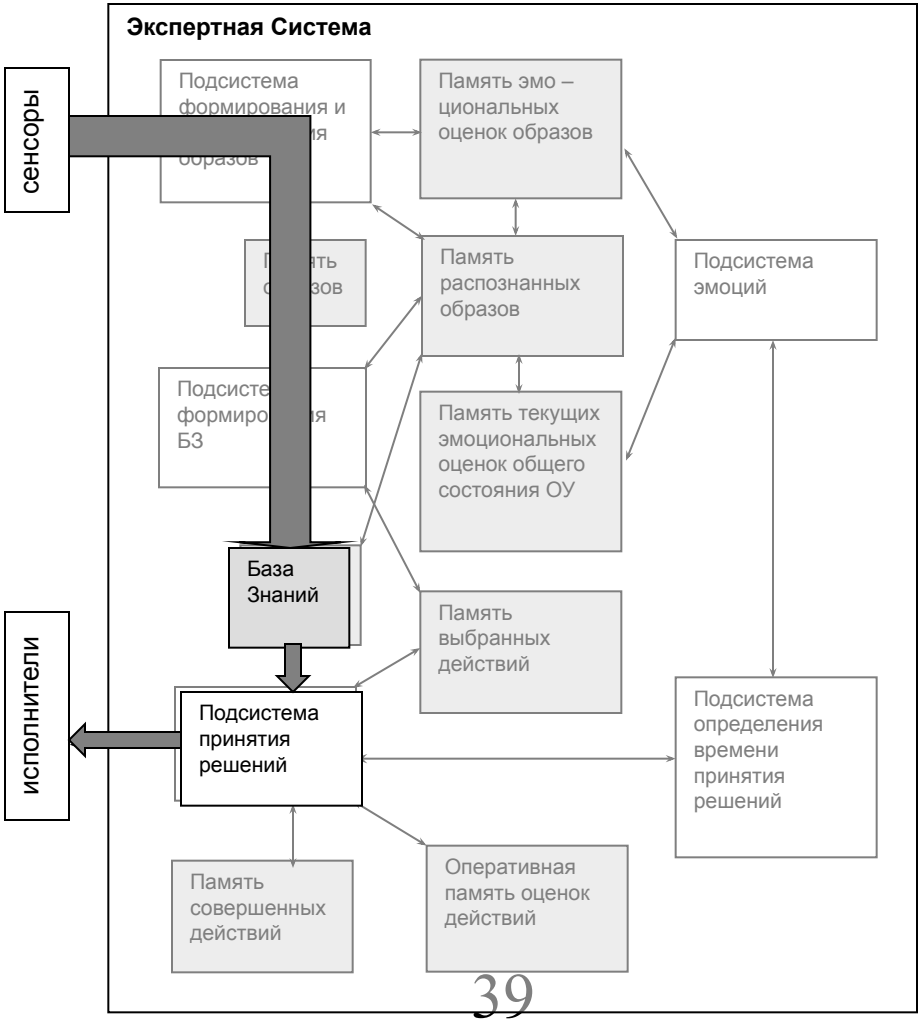
The car suspension has to have an active actuator. Then the AAC accumulates empirical knowledge about properties of given car and controls the system by means “clever pushes”.

AdCAS system increases the comfort, stability and controllability of the car

Несколько критических замечаний в отношении общепринятого понимания процесса управления

Известные нам системы управления обычно являются частными случаями рассмотренной системы ААУ

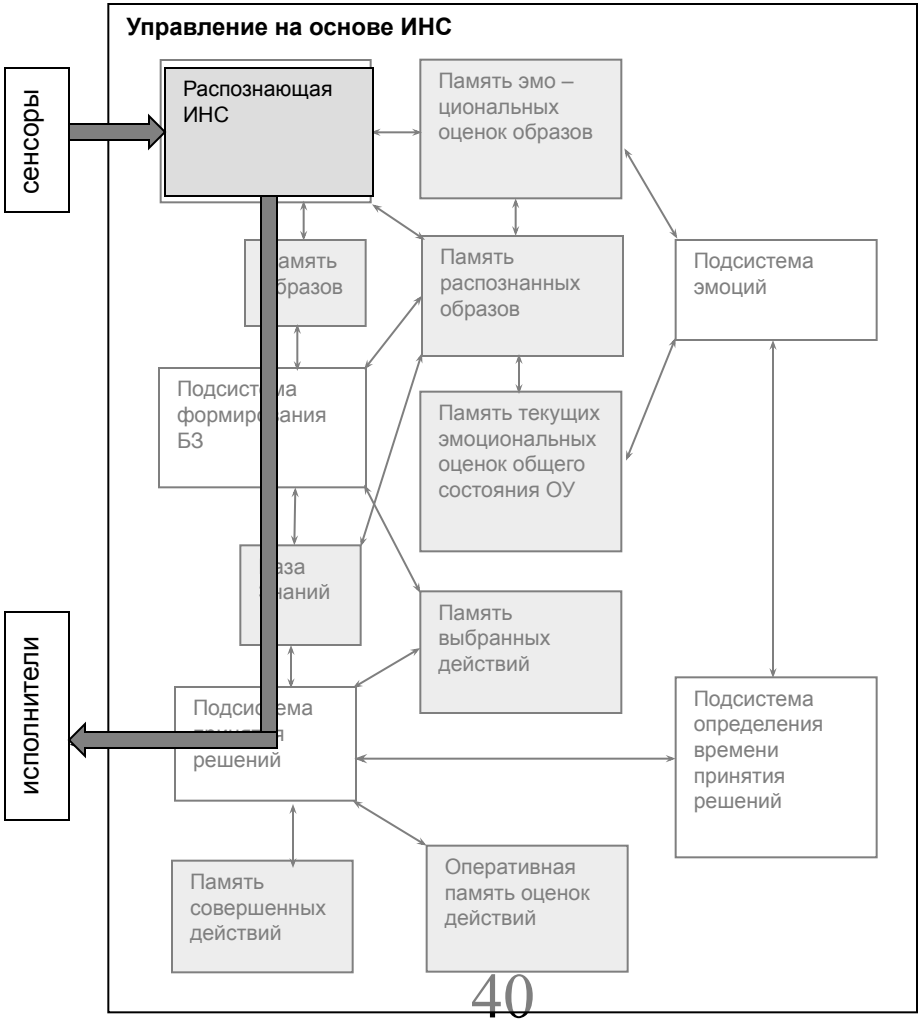
Например, «экспертная система» - это заранее заполненная база знаний и подсистема принятия решений



Несколько критических замечаний в отношении общепринятого понимания процесса управления

Например, нейросетевая система управления - это когда удалено все, кроме заранее обученной системы распознавания.

И т.п.

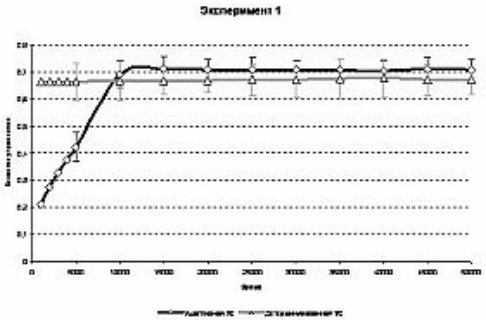


Технологические причины отсутствия адаптивных машин сегодня

Все технологические процессы сегодня основаны на оптимизационных идеях.

Проблемы адаптивности обходятся на этапе проектирования систем, которые приспосабливаются к усредненным условиям эксплуатации.

Инженеры сегодня не знают о возможности создания адаптивных систем и машин и не умеют их делать.



Психологические причины отсутствия адаптивных машин

1. Рынок не сформирован, так как пока нет спроса. Никто не знает о возможности адаптивных машин и не спрашивает их в магазинах.
2. Психологически будет трудно приспособиться к появлению адаптивных машин
3. В некоторых отношениях человеку приятнее приспосабливаться самому, чем видеть, как вещи приспосабливаются к нему.
4. Однако появление адаптивных машин – систем автономного искусственного интеллекта неизбежно и специалисты уже понимают это.

Спасибо за внимание!

Жданов Александр Аркадьевич

профессор, д.ф.-м.н.,
главный научный сотрудник,
«Институт точной механики и вычислительной техники имени С. А. Лебедева»

http://www.ipmce.ru,

http://www.aac-lab.com