

РУКОВОДСТВО



OPEN Tadpole

THE FIRST CYBERNETIC ANIMAL

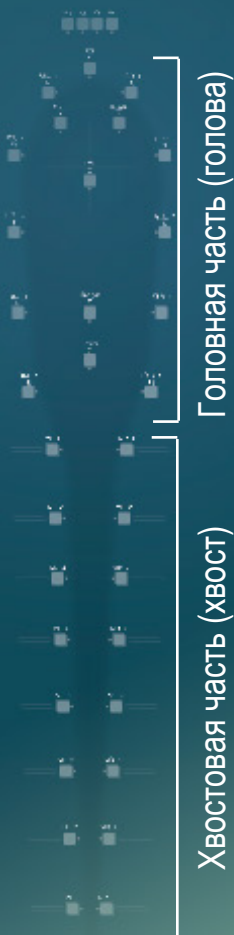
2 0 1 7

Краткие сведения

В системе OPENTadpole существуют два режима: **ConnectomTadpole** и **SimWorldTadpole**

ConnectomTadpole - редактор коннектома головастика

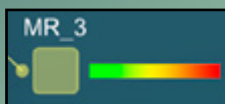
SimWorldTadpole - симуляция тела головастика и внешней среды



Редактор позволяет редактировать нервную систему головастика, создавать нейроны и связи между ними (синапсы), производить их настройку.

У головастика можно выделить две части: головную часть (голову) и хвостовую часть (хвост). В головной части расположены рецепторы, которые поставляют входящие сигналы в нервную систему. Рядом с каждым индикатором рецептора указана клавиша клавиатуры, нажав нажав на соответствующую клавишу, активизируется рецептор. Помимо рецепторов давления на кожу (11 шт.), рецепторов чутья пищи (2 шт.), светочувствительного рецептора (1 шт.), а также рецептора голода (1 шт.) и усталости (1 шт.) в системе присутствуют 4 специальных рецептора F1, F2, F3 и F4 для дополнительных воздействий на нервную систему головастика и экспериментов.

В хвостовой части находятся двигательные единицы (16 шт.), являющимися индикаторами выходных сигналов нервной системы головастика. Рядом с двигательной единицей расположен индикатор интенсивности, который показывает уровень воздействия на двигательную единицу с учётом временного фактора.

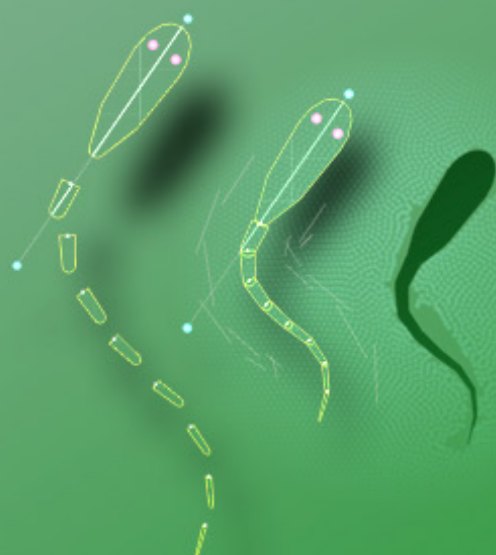


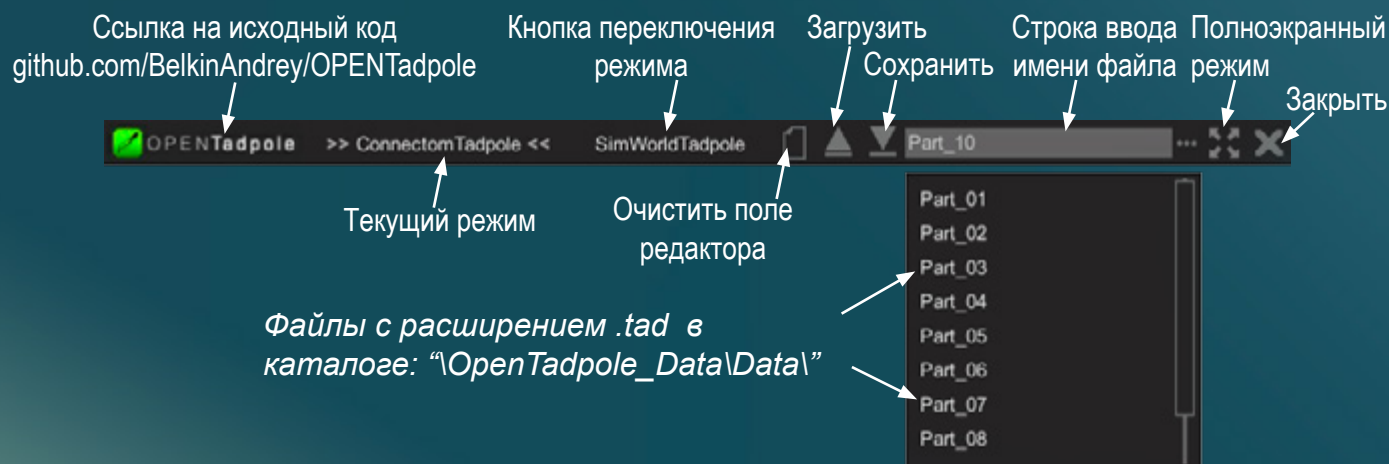
Симуляция среды позволяет моделировать внешние проявления работы нервной системы головастика.

Головастик состоит из сегментов, всего 9 сегментов. Сегменты связаны виртуальной кинематической парой (суставом). На каждый сустав воздействует пара виртуальных мышц, которые могут менять свою длину (сокращаться) и имеют определённую упругость.

Механические свойства внешней среды моделируются методом гидродинамики сглаженных частиц (англ. Smoothed Particle Hydrodynamics, SPH). Визуализацию этих частиц можно отключить клавишей F12.

Симуляция жидкой среды позволяет головастику свободно плавать в пределах обозначенной прямоугольной области. Контакт с границами данной области воспринимаются рецепторами давления на кожу головастика, а так же головастик чувствует запах рядом расположенной пищи и ощущает, включено ли освещение в его месте пребывания.





ConnectomTadpole



Выбор объекта



Меню редактора



Перемещение



Масштабирование

SimWorldTadpole



Инструмент "палец" можно потрогать головастика



Инструмент "пицца"



Перемещение



Масштабирование

Два индикатора активности рецепторов чутя пищи, чем ближе пища, тем чаще они активируются

Чем ниже уровень сытости (satiety), тем чаще активируется рецептор голода (hunger). Чем выше прожорливость (voracity), тем быстрее снижается сытость

Индикаторы активации специальных рецепторов



Инструмент "тиски" - фиксация головастика за головную часть и непрерывное воздействие на рецепторы давления кожи, при определённых условиях это заставляет головастика извиваться в попытке выбраться

Индикатор включения света в симуляции (F5)

Чем выше уровень усталости (fatigue), тем чаще активируется рецептор угнетения (power). Чем ниже выносливость (endurance), тем быстрее активные действия головастика будут приводить к повышению усталости

Создание нейрона

1). Нажмите и держите правую кнопку мыши, должно появиться меню редактора.

2). Удерживая кнопку мыши переместите указатель на соответствующую пиктограмму и отпустите кнопку. В месте перекрестия создастся новый нейрон.



Пока нажата клавиша мыши можно выбрать тип создаваемого нейрона. Всего три типа нейронов: простой сумматор (simple summer), модулируемый (modulator) и нейрон генератора движения головастика (diN). Достаточно навести указатель на необходимый тип нейрона, чтобы изменить тип вновь создаваемого нейрона.

Удаление нейрона

При нажатии на левую кнопку мыши над нейроном, возможно, выделить его, а так же возможно выделить множество нейронов с помощью рамки выделения.

Если выделен хотя бы один нейрон, то в меню редактора появляется пиктограмма мусорной корзины. Если отпустить правую кнопку мыши, когда указатель над ней, то все выбранные нейроны удалятся вместе со всеми связями (синапсами) которые у них были.



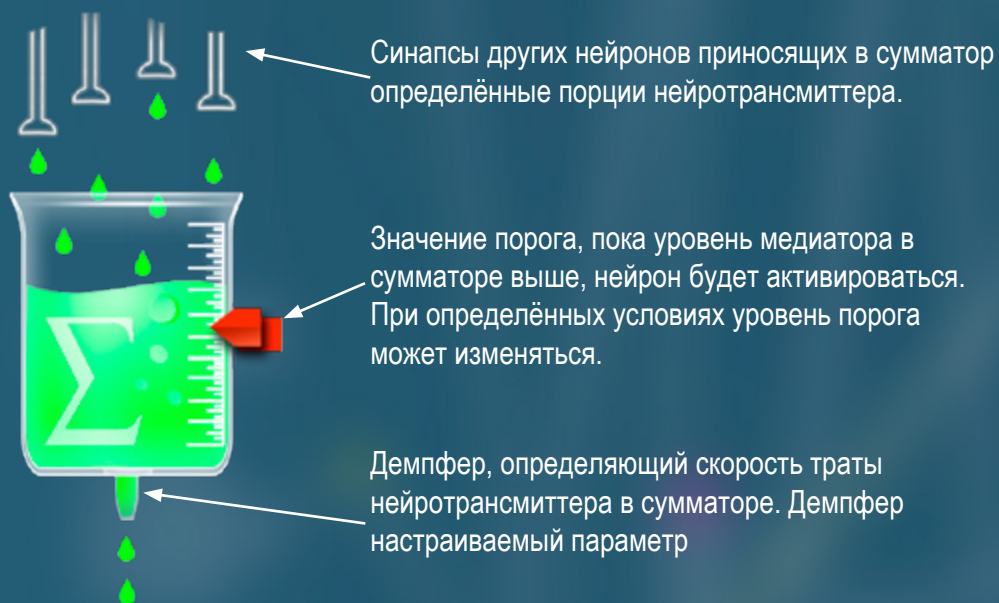
Создание синапса

Если выделен только один нейрон, то в меню редактора появится пиктограмма для создания синапсов. Выбрав ее, включится режим создания синапсов, в котором можно выбирать целевые нейроны, с которыми будет формироваться связь. Этот режим можно отключить, нажав на правую кнопку мыши.



Модель нейрона

Суммация главное функциональное свойство нейрона. Модель сумматора нейрона системы OPENTadpole можно представить в образной форме сосуда, в котором скапливается нейротрансмиттер поступающий от синапсов других нейронов. Каждый такой синапс выделяет при активации определённую порцию нейротрансмиттера. Но нейротрансмиттер непрерывно тратится в синаптической щели, он разрушается специальным ферментом или поглощается обратно через мембрану синапса, поэтому наш сосуд имеет на дне небольшое отверстие - демпфер, через которое происходит трата общей суммы нейротрансмиттера. Если уровень нейротрансмиттера в сумматоре будет превышать определённое пороговое значение, то нейрон будет активироваться, причём после каждой активации нейрону будет требоваться время на перезарядку. Таким образом, в сумматоре учитывается фактор времени, при малых и редких получаемых порциях нейротрансмиттера нейрон может быть не активирован, а при сильном воздействии возможна целая серия активаций.



Существует два типа нейротрансмиттеров прямого действия: побудительный и тормозящий (ингибирующий). Порция выделяемого нейротрансмиттера синапсом при активации в системе определяется реальным числом и может быть отрицательным. Так же может быть отрицательной сумма в сумматоре. Если продолжить аналогию сумматора с сосудом, то два типа нейротрансмиттера будут взаимоуничтожаться, попадая в сумматор, а ингибирующий нейротрансмиттер будет так же тратиться с течением времени.



Настройка нейрона



Чтобы открыть окно настройки нейрона необходимо выбрать только один нейрон и в меню редактора появиться соответствующая пиктограмма, выбрав которую откроется окно настройки нейрона.

Simple summer



Простой сумматор имеет только базовый функционал сумматора, это самая простая модель нейрона в системе.

Идентификационный номер нейрона в системе

Индекс типа нейрона (0 - Простой сумматор; 1 - Модулируемый нейроэлемент; 2 - Нейрон генератора движения головастика (diN))

Значение текущей суммы

Максимальное значение сумматора

Минимальное значение сумматора

Пороговое значение. В скобках текущее пороговое значение. Если сумма будет превышать данное значение, то в случае если нейрон не активен и не стадии отдыха, будет происходить его активация.

Демпфер - значение, на которое будет снижаться модуль суммы каждую миллисекунду.

Время ответа, время в миллисекундах после активации, через которое нейрон активизирует свои синапсы.

Время отдыха, время в миллисекундах после активации синапсов, в течение, которого нейрон не может быть активирован.

Modulator



Модулируемый нейрон обладает всеми свойствами Простого сумматора и рядом дополнительных функций. Особенностью данного нейрона является динамическое изменение порогового значения под воздействием модулирующих синапсов или свойств привыкания и адаптации.

Модуляция - свойство нейрона, способность изменять свои характеристики и параметры под воздействием определенного типа синапсов, модулирующих синапсов. Благодаря воздействию модулирующих синапсов в нейронах системы OPENTadpole изменяется порог, причём подобно сумме сумматора значение модуляции изменяется с течением времени, значение порога возвращается в исходное состояние со скоростью определяемой демпфером модуляции.

Привыкание - свойство нейрона, определяющее механизм снижения уровня чувствительности нейрона при многократной его активации. Частая активация нейрона синаптическим контактом химического типа приводит к снижению вероятности активации нейрона тем же уровнем воздействия данной синаптической связи.

Адаптация - свойство нейрона, определяющее механизм повышения уровня чувствительности нейрона с течением длительного бездействия. Вероятность срабатывания нейрона от слабого воздействия возрастает при длительной деривации (отсутствия раздражителей) нейрона.

The 'Edit Neuron' dialog box contains the following parameters:

- MaxModul: 300
- DampferM: 0.01
- EvaluationTime: 2000
- IterationLimit(0): 5
- thresholdUp: 1
- StartAdaptTime: 5000
- SpeedAdapt: 2000
- MinThreshold: 1

Buttons: Cancel, Ok

Максимальное значение модуляции, повышение порога вследствие воздействия на нейрон модулирующего синапса.

Демпфер модулирующего фактора, значение на которое будет изменяться порог каждую миллисекунду, стремясь достигнуть исходного своего значения.

Время оценки, время, в миллисекундах отсчитываемое с момента окончания периода отдыха нейрона, если в течение этого времени нейрон будет активирован, то счётчик повторных активаций увеличится, по истечении данного времени счётчик обнуляется.

Лимит повторов, максимальное значение счетчика повторов после которого начинается увеличение порога с каждым повторным срабатыванием. Данный параметр связан с процессом привыкания, определяет некоторый запас устойчивости работы нейрона до начала привыкания. В скобках фактическое значение счетчика повторов.

Значение на которое будет увеличиваться порог с каждой повторной активацией после исчерпания лимита повторов.

Время начала адаптации, время отсутствия активаций, по истечении которого будет происходить адаптация - постепенное снижение уровня порога.

Скорость адаптации, временной интервал, в который будет происходить снижение порога на 1.

Минимальное значение порога, до которого будет происходить адаптация.

dIN



Нейрон генератора движения головастика, нейрон, специфичные свойства которого были переняты у биологического аналога. Имеет все те же свойства, что и Простой сумматор, но в случае возникновения ситуации, когда сумма на сумматоре опустится ниже определенного значения (нижний порог) произойдет обычная активация, но с некоторой задержкой (время реактивации).

Дополнительные настройки:

Нижний порог, значение порога при котором запускается режим реактивации, активация через некоторый период бездействия.

Время реактивации, время в миллисекундах определяющие период бездействия, отсчитываемое с момента снижения суммы на сумматоре ниже нижнего порога, данный период всегда оканчивается активацией нейрона.

Нейроны dIN могут генерировать потенциал действия при выходе из торможения (post-inhibitory rebound)

Модель синапса

В системе OPENTadpole существует три типа синапсов:

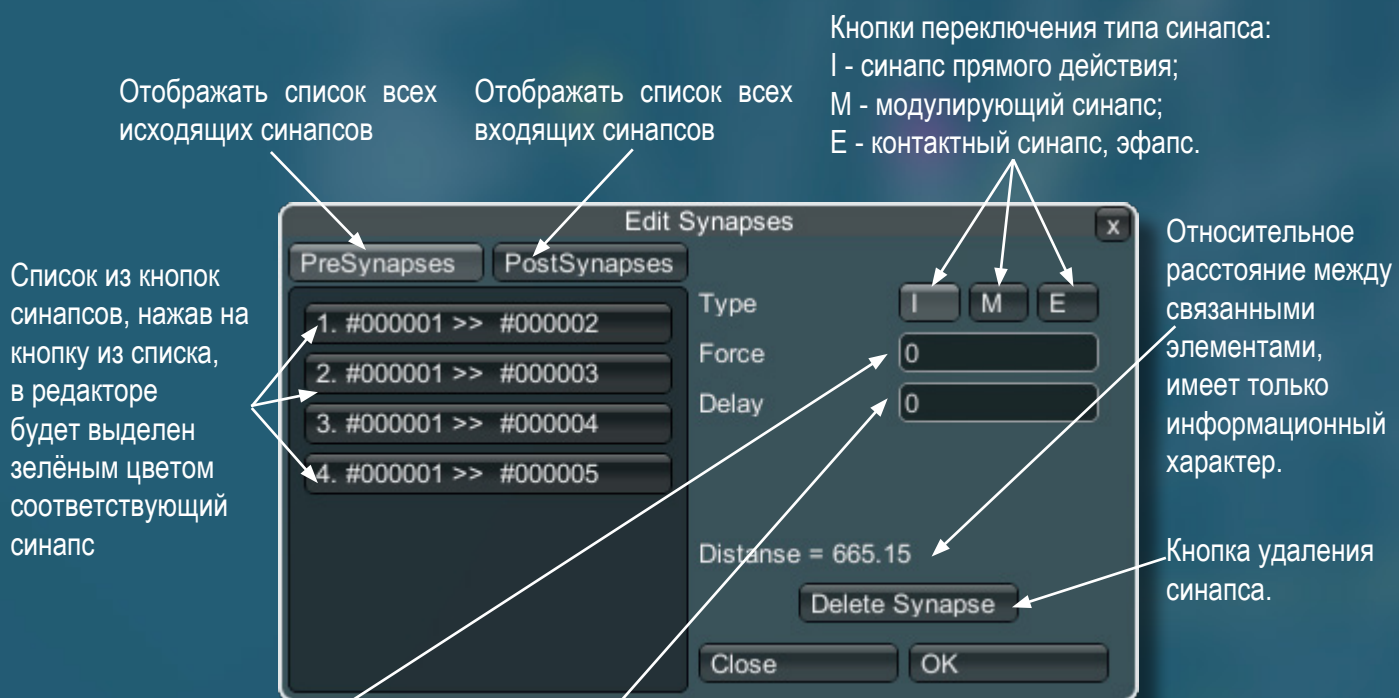
Синапс прямого действия (I) – синапс, оказывающий действие на сумматор, имеет характеристику сила, определяется реальным числом. Сила может быть отрицательной, что говорит об ингибирующем действии синапса.

Синапс модулирующего действия (M) – синапс, под воздействием которого изменяются некоторые характеристики нейрона, в системе OPENTadpole под действием модулирующего синапса изменяется пороговое значение. Параметр сила данного типа синапсов, определяет, насколько будет изменяться порог, но пороговое значение не может опуститься ниже нуля и увеличится выше максимума модулирующего действия.

Контактный синапс, или эфасп (E) – синапс, активность которого будет приводить к активации нейрона, в случае если это возможно. Не имеет параметр сила.



Чтобы открыть окно настройки синапсов необходимо выбрать только один нейрон и в меню редактора появиться соответствующая пиктограмма, выбрав которую откроется окно настройки синапсов.



Сила синапса, может быть отрицательным, что в случае синапса прямого действия указывает на ингибирующее действие синапса. Для контактного синапса игнорируется.

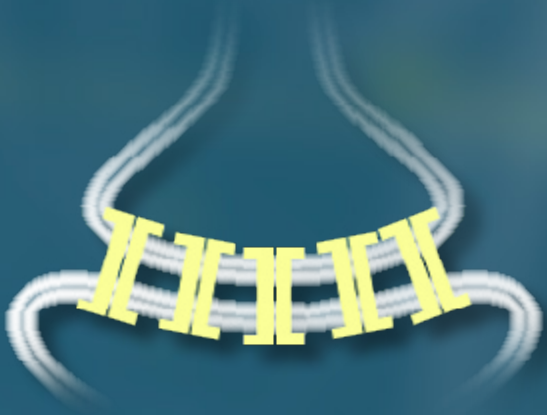
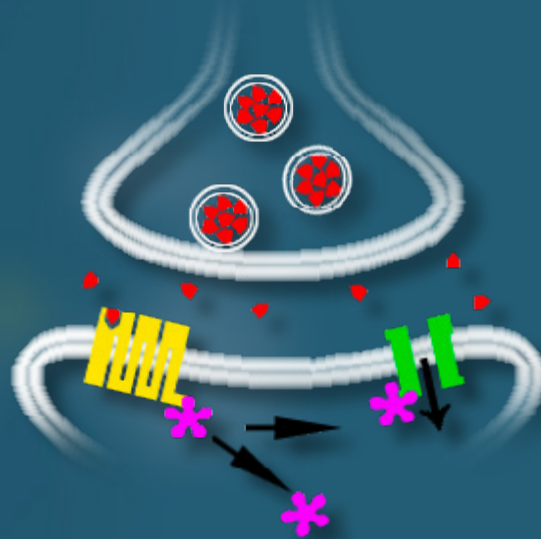
Задержка в миллисекундах, с которой будет проходить сигнал через синапс. Скорость распространения нервного импульса конечна и в среднем составляет 1м/с, в зависимости от степени миелинизации в различных аксонах эта скорость может отличаться. Также при передаче возбуждения в синапсе может возникать синаптическая задержка. Данный параметр позволяет имитировать в системе различного рода задержки при передаче сигнала.

Синапсы системы OPENTadpole имеют свои аналоги в биологической нервной системе.



Ионотропные рецепторы представляют собой комбинацию: ионный канал + рецептор. Ионный канал открывается, когда его рецептор взаимодействует с соответствующим нейротрансмиттером. Чем больше подобных каналов открыто, тем больше вероятность возникновения потенциала действия. Такой тип рецепторов можно сопоставить с синапсами прямого действия, причём побудительного характера. Плотность расположения рецепторов на постсинаптической мембране является аналогом уровня порога сумматора, чем больше рецепторов на мембране, тем чувствительней нейрон к действию медиатора, тем ниже порог его активации.

Метаботропные рецепторы, рецепторы которые при взаимодействии с нейротрансмиттером высвобождают некоторое вещество-посредник, которое в свою очередь может оказывать различные изменения в работе и метаболизме нейрона. Вещество-посредник может открывать или препятствовать открытию ионных каналов, что влияет на механизм суммации в нейроне, а также может оказывать модулирующее действие: снижать или увеличивать плотность ионных каналов и рецепторов в синапсах, влиять на общий рост нейрона и его нейропластичность, влиять на синаптическую задержку, изменять уровень привыкания и другие метаболические свойства. Метаботропные рецепторы являются пропитом модулирующих синапсов в системе OPENTadpole.



Контактный синапс, или электрический синапс, эфапс - синапс в котором передача потенциала действия от клетки к клетке передается непосредственно через специальные контакты-каналы, без использования химических медиаторов. Данный тип синапсов не определяется силой и чувствительностью только наличием факта связи.

Инициация движения

Изначально в системе присутствуют 10 примеров-сохранений, которые позволят изучить нервные схемы позволяющие головастику плавать, маневрировать, реагировать на раздражители, осязать, искать пищу и избегать препятствий.

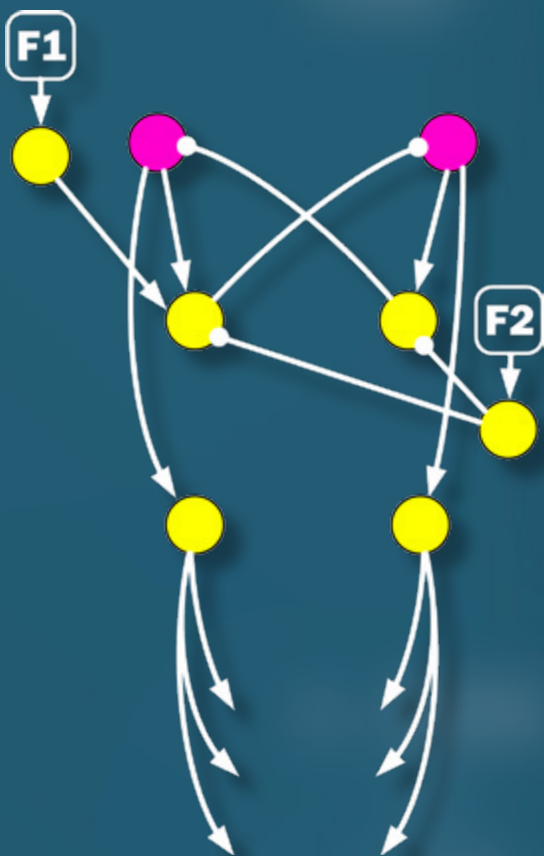
Part_01

Генератор движения:



Упорядоченный генератор активности - это источник ритмических нервных импульсов, которые могут трансформироваться в двигательную активность. На рисунке представлена схема нейронов, которая наблюдается у головастика, данная структура многократно повторяется и располагается вдоль туловища головастика. В сохранении используется только один генератор, в биологических системах избыточное дублирование обеспечивает надежность и стабильность работы.

Генератор движения головастика состоит из двух нейронов dIN, расположенных по бокам, которые через вставочные ингибирующие нейроны перекрёстно оказывают друг на друга тормозящее воздействие. Если активируется один нейрон dIN, то на другой нейрон будет оказано тормозящее воздействие, через некоторое время возбуждение в первом нейроне dIN пройдёт, а во втором произойдёт активация вследствие выхода из ингибирующего состояния (post-inhibitory rebound), таким образом, происходит попеременная активность в противоположных частях нейронной схемы.



Можно дополнить схему управляющими элементами:

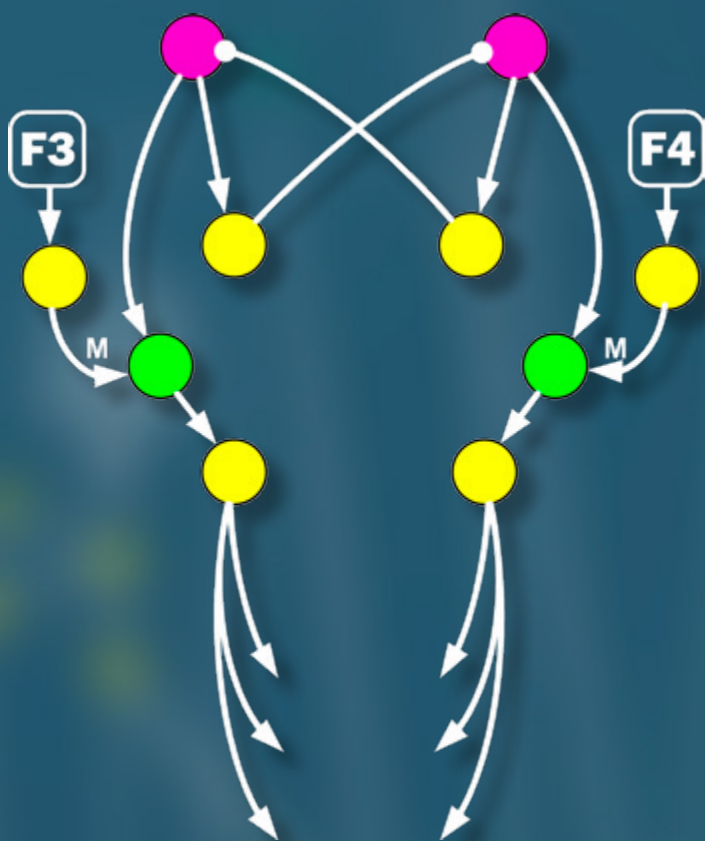
- F1 рецептор запускает генератор движения;
- F2 рецептор подавляет активность в генераторе.

От генератора на каждую сторону идут сигналы к моторным нейронам вдоль тела головастика. Эти сигналы идут с задержкой последовательно от тела головастика до кончика хвоста, в Part_01 интервал задержки задан в 100 миллисекунд, что создает эффект распространяющейся вдоль тела волны возбуждения.

Запустите Part_01 в режиме SimWorldTadpole, нажмите клавишу F1, головастик начнёт совершать плавательные движения. Нажмите F2, головастик прекратит плыть.

Манёвры

Part_02



Чтобы совершить поворот при плавании мышцы головастика должны с одной стороны сокращаться интенсивнее, причём ритм плавания должен при этом сохраниться. Для более интенсивного сокращения определённым мышцам должны посылаться более частые сигналы.

В зависимости от уровня порога, скорости снижения суммы на сумматоре и уровню воздействия на нейрон, он может успевать активизироваться целыми сериями.

Понижая уровень порога в модулируемых нейронах (зелёные) с помощью модулирующих синапсов (M), можно управлять характером активаций моторных нейронов.

Рецептор F3 будет заставлять плыть головастика влево, а F4 вправо, при активном генераторе движения.

Без модуляции:



С модуляцией:



Запустите *Part_02* в режиме SimWorldTadpole, нажмите клавишу F1, головастик начнёт совершать плавательные движения. Нажимая клавиши F3 и F4, управляйте направлением плавания головастика.

Реакция на свет



У головастика в ранний период развития имеются скопление светочувствительных клеток в области головы - глаз. Этот глаз позволяет ориентироваться животному в том, находится ли оно над открытым пространством, или под тенью естественных ограждений. Для выживания головастика имеет значение скрыт ли он взора хищников и животных охочущихся на него. Поэтому активность светочувствительных клеток влияет на поведение головастика, под действием света головастики более активны, стремясь уйти в тень, а в темноте и безопасности головастики склонны замирать.

В режиме симуляции свет можно включать и выключать клавишей F5, в режиме редактора клавишей Z можно управлять активностью рецептора реагирующего на свет.

На примере реакции на свет мы рассмотрим несколько нейронных схем которые могут использоваться в различных аспектах формирующих сложное поведение животного.

Part_03

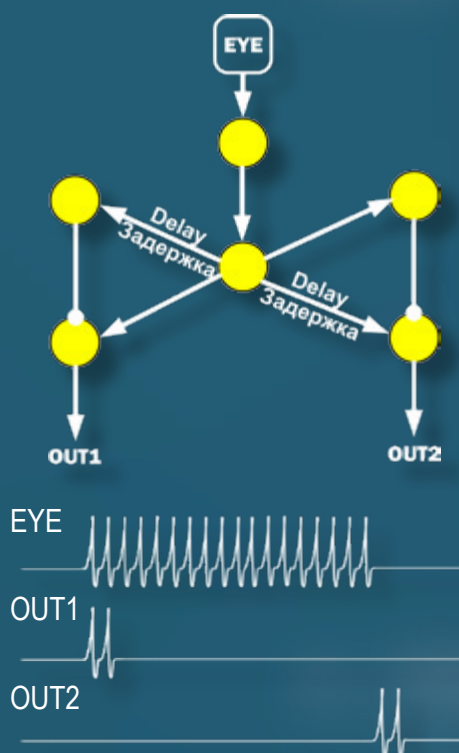
В сохранении *Part_03* свет оказывает модулирующее действие на моторные нейроны. Когда свет включён амплитуда моторных двигательных движений увеличивается, что приводит к большей активности головастика при свете.

Запустите *Part_03* в режиме SimWorldTadpole, нажмите клавишу F1, головастики начнут совершать плавательные движения. Включите свет клавишей F5, головастики будут плавать активнее. Выключите свет, повторно нажав на клавишу F5, головастики должны вернуться к обычной форме плавания.

Part_04

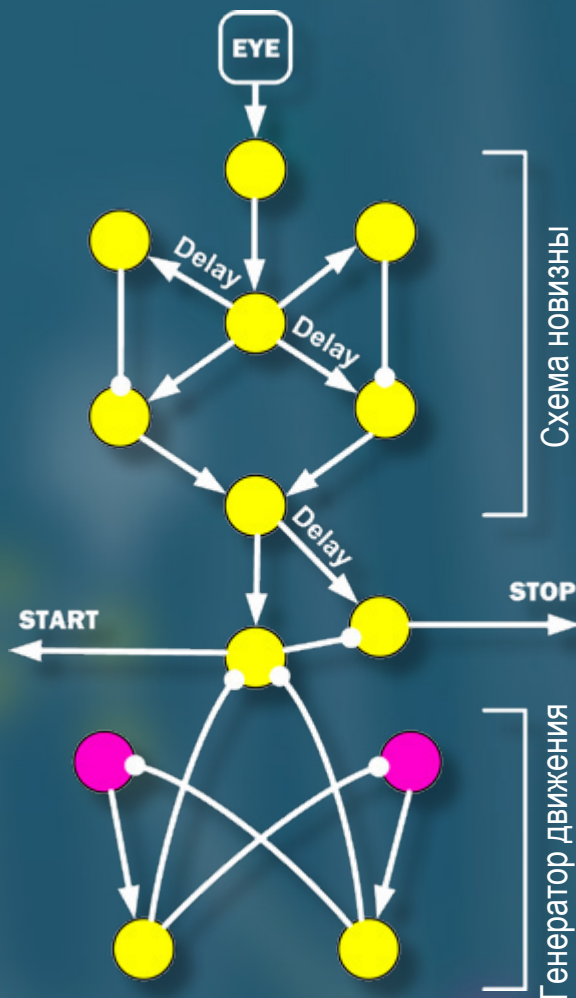
Чтобы головастики реагировали на факт включения или выключения света можно применить следующую нейронную схему. Схема с последующим торможением: непрерывный побудительный сигнал будет ингибироваться сигналом с задержкой, что на выходе приводит к получению сигнала только при начале серии импульсов. Схема с предшествующим торможением: торможение опережает побудительный сигнал и при этом ингибирование закончится раньше, чем серия импульсов, тем самым на выходе будет сигнал только по окончании импульсов.

Чтобы реагировать на факт изменения в работе светочувствительных рецепторов можно объединить выходы двух этих схем.



Запустите *Part_03* в режиме SimWorldTadpole, включите свет клавишей F5, головастики начнут плавательные движения. Выключите свет повторным нажатием клавиши F5, головастики прекратят плавать.

Part_05



Нейронная схема новизны позволяет получить сигнал при любых изменениях в работе светочувствительных рецепторов. На изменение в окружающей среде животное отвечает изменением своего поведения. Так головастики могут сменить плавание на покой, и покой на плавание при изменении освещения, эту логику можно обеспечить за счёт двух нейронов. При работе генератора движения один нейрон из данной цепочки будет ингибирован, и в случае получения сигнала от схемы новизны не будет активироваться, но будет активироваться нейрон, который передаст сигнал на остановку генератора движения. В случае не работы генератора движения, сигнал от схемы новизны будет активировать нейрон запускающий генератор движения и одновременно ингибировать нейрон запускающий схему остановки генератора движения.

Запустите Part_05 в режиме SimWorldTadpole, принуждайте к движению головастика клавишей F1 и останавливайте головастика клавишей F2, а так же меняйте режим освещения клавишей F5, чтобы влиять на поведение головастика

Благодаря знанию логики работы нейронов, можно описать любое сложное поведение. Попробуйте создать нейронную схему, при которой головастики реагировали бы только на включение света трижды.

Part_06

В данном сохранении головастики спокойнее в отсутствии света, в данных условиях они будут останавливаться, и замирать, при включённом свете этого происходить не будет.

Запустите Part_06 в режиме SimWorldTadpole, нажмите клавишу F1, головастики начнут совершать плавательные движения, но через некоторое время остановятся. Включите свет клавишей F5, иницируйте двигательную активность головастика клавишей F1, головастики при включённом свете не будут самостоятельно останавливаться.

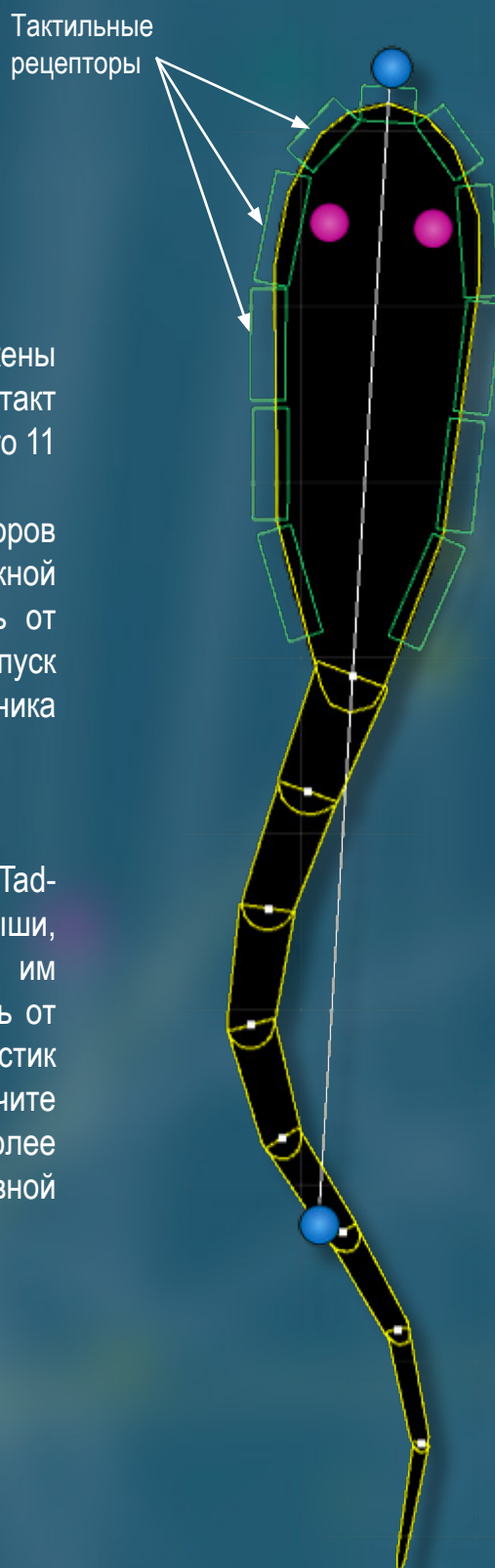
Осязание

Part_07

В головной части головастика расположены тактильные рецепторы, которые реагируют на контакт с инструментом “палец” и бортами аквариума. Всего 11 рецепторов.

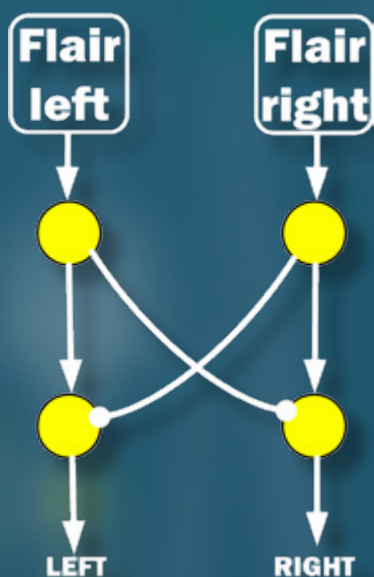
Нервное возбуждение от тактильных рецепторов передается на моторные нейроны противоположной стороны, что бы мощным движением отпрянуть от источника раздражения, а так же происходить запуск генератора движения, что бы уплыть от источника раздражения.

Запустите Part_02 в режиме SimWorldTadpole, нажмите и удерживайте левую кнопку мыши, вызвав инструмент “палец”, теперь коснитесь им головы головастика, головастик должен отпрянуть от “пальца” и начать плыть. Наблюдайте, как головастик плавает в аквариуме, избегая его стенок. Включите свет клавишей F5, головастик начнет плавать более активно, благодаря эффекту модуляции в его нервной системе.



Обоняние

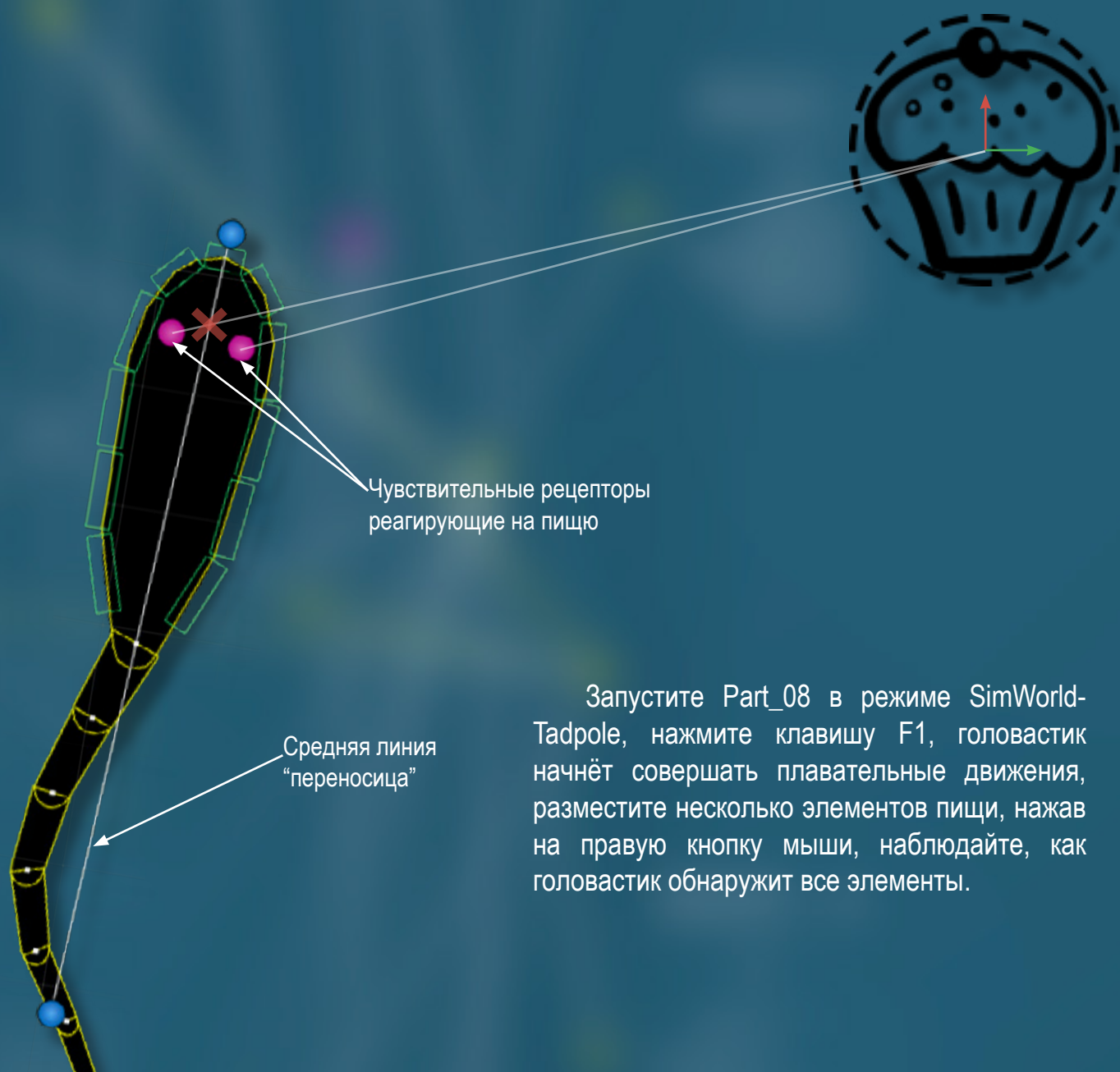
Part_08



У головастика присутствуют два чувствительных рецептора реагирующих на пищу, чем ближе пища, тем интенсивнее будет активность рецептора с учетом квадрата расстояния до пищи, но если пищу и чувствительный рецептор будет соединять линия, пересекающая среднюю линию (“переносицу”), то чувствительный рецептор не будет реагировать на данную пищу.

Чтобы правильно обработать информацию от двух чувствительных на пищу рецепторов, сигналы от них должны пройти нейронную схему взаимного ингибирования.

Элемент пищи исчезает, как только коснется передней части головы головастика.

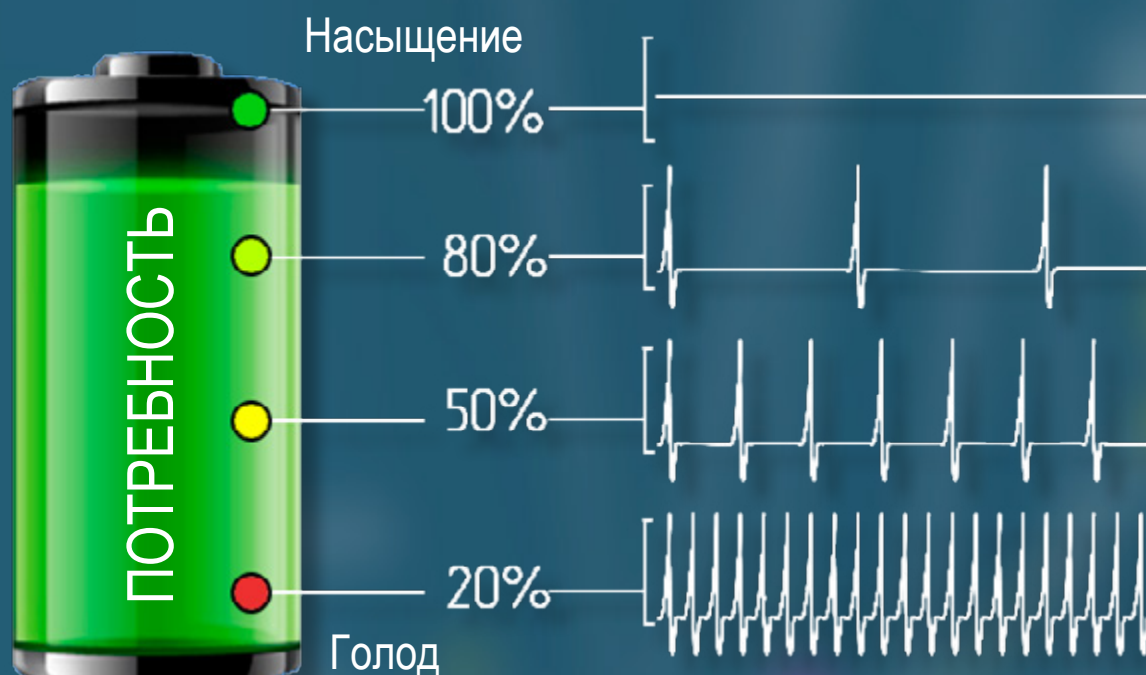


Запустите Part_08 в режиме SimWorld-Tadpole, нажмите клавишу F1, головастик начнёт совершать плавательные движения, разместите несколько элементов пищи, нажав на правую кнопку мыши, наблюдайте, как головастик обнаружит все элементы.

Механизмы потребностей

Механизмы потребностей основаны на работе специфических рецепторов, которые ориентированы на уровень насыщенности определенной потребностью, в зависимости от данного уровня будет определяться интенсивность активации рецептора. Чем ниже уровень насыщенности, тем выше интенсивность активаций рецептора.

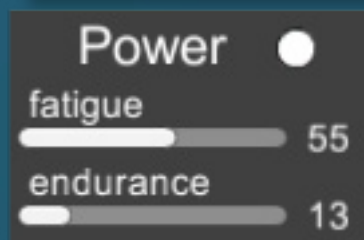
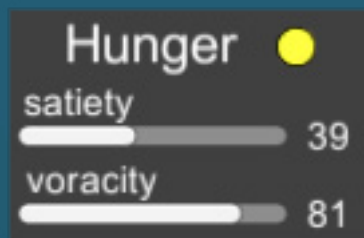
В симуляторе присутствуют два механизма потребностей: потребность в пище и потребность в отдыхе. Возможно, настроить скорость возникновения данных потребностей и управлять их уровнем напрямую.



Part_09

В данном сохранении рецептор Hunger ответственный за чувство голода управляет модуляцией нейронов связанных с чувствительным к пище рецепторам. Не голодный головастик - практически лишен чувства обоняния.

Рецептор Power ответственный за потребность в отдыхе связан с цепочкой нейронов подавляющих активность в генераторе движения.



Запустите Part_09 в режиме SimWorldTadpole, настройте уровень прожорливости (voracity) на 80%, а уровень выносливости (endurance) на 10%, разметите несколько элементов пищи по аквариуму, наблюдайте за тем как активность и поиск пищи сменяется бездействием и отдыхом у головастика. Настройте параметры метаболизма головастика по собственному усмотрению.

Защитный рефлекс

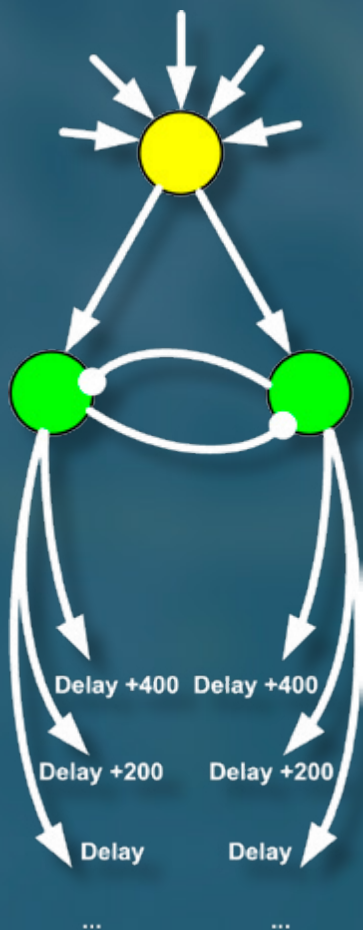


Инструмент “тиски” в режиме симуляции включается клавишей F6, при этом голова головастика строго фиксируется, а хвост находится в свободном состоянии, так же на рецепторы осязания будет оказываться непрерывное сильное воздействие.

Part_10

В сохранении Part_10 присутствует защитный рефлекс, проявляющийся в том, что при сильном воздействии на тактильные рефлексы головастик начинает совершать сильные продолжительные махи хвостом, причём сокращение мышц начинается с конца хвоста и распространяется к головной части головастика. Головастик, как бы пытаясь, пытается высвободиться из “тисков”.

Данный рефлекс основан на простой нейронной схеме, нейрон-сумматор получает сигналы от осязательных рецепторов, его порог определяет степень активаций рецепторов, при котором начинает работать защитный рефлекс. В нашем случае порог сумматора достаточно высок, что бы разграничить реакцию на лёгкое касание и реакцию на зажим в “тисках”.



При активации сумматор посылает сигналы на два модулируемых нейрона (зелёные), которые взаимно ингибируются, что не позволяет им активироваться одновременно, поэтому на одни из них сигнал от сумматора поступает с небольшой задержкой. Модулируемые нейроны настроены так, что их механизм привыкания срабатывает при 1 500 повторных активаций, тогда нейрон перестает отвечать на раздражение и ему требуется некоторое время на восстановление исходных параметров. Пока действует воздействие сумматора, модулируемые нейроны попеременно активизируются, при этом они активируют моторные нейроны хвоста, каждый по своей стороне. Сигнал от модулируемых нейронов приходит к моторным нейронам конца хвоста раньше, а к передней части хвоста с задержкой.

Запустите Part_10 в режиме SimWorldTadpole, нажмите F6, наблюдайте, как головастик пытается выбраться из западни. Повторно нажмите F6, головастик еще некоторое время должен сохранять активность и попытаться уплыть от опасного места

Сохранение Part_10 имеет оптимально полный набор рефлексов головастика доступный в симуляторе OPENTadpol.





OPENTadpole

Белкин Андрей
Июль 2017

lt.belkin@gmail.com



www.youtube.com/c/АндрейБелкинОлегович



github.com/BelkinAndrey



vk.com/club137626673