

К Вопросу о Создании Самообучающейся и Самомодифицирующейся Импульсной Нейронной Сети в Качестве Модели Мозга

Александр А. Малякко, Андрей В. Гаврилов

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

Аннотация – В данной работе предлагается новая архитектура модели искусственного интеллекта на основе спайковых нейронных сетей. Эта архитектура включает в себя элементы восприятия входных воздействий, обрабатывающие модули и модули, управляющие их обучением. Функциональность модуля управления и обучения основана на его способности генерировать аналоги основных эмоций: положительных и отрицательных. Эти эмоции курируют обучение и поведение всей системы.

Ключевые слова – Искусственный интеллект, нейронные сети, мозг, машинное обучение.

I. ВВЕДЕНИЕ

ИССЛЕДОВАТЕЛИ в работах по искусственному интеллекту (ИИ) в 1990-2000 годах столкнулись с кризисом. Этот кризис был вызван следующими причинами:

- быстрый рост робототехники, в частности, появление когнитивной робототехники;
- необходимость создания устройств для визуального наблюдения и восприятия окружающего мира в интересах разведки, безопасности и военных систем;
- довольно успешные исследования активности и структуры мозга, показавшие несостоятельность многих моделей ИИ;
- отсутствие общих и детальных концепций развития универсального искусственного интеллекта, функционирующего наподобие человеческого разума, для встраивания в когнитивные роботы и их интеллектуальное окружение;
- существование множества различных парадигм для разработки специальных интеллектуальных систем, включая методы, основанные на исследованиях нейронных сетей и вероятностных моделей.

Наличие множества различных моделей и методов породило сложные проблемы для исследователей и разработчиков, вынужденных выбирать некоторые из них в соответствии с требованиями и ограничениями и их комбинаций в соответствии с концепцией гибридной интеллектуальной системы [1, 2]. В качестве попыток преодоления этого кризиса в работах по созданию «Обобщенной модели искусственного интеллекта» (Artificial General Intelligence - AGI) в рамках коннекционистского подхода появились такие направления исследований, как глубокое обучение [3] и нейроморфные технологии [4]. Кроме того, в AGI широко используются модели и концепции гибридного интеллекта. Но похоже, что применение моделей гибридной интеллектуальной системы является лишь временным решением для проблемы развития искусственного интеллекта человеческого типа.

Мы считаем, что такой подход в конечном итоге должен привести к построению искусственного разума, основанного на сочетании нескольких нейронных сетей с различной

функциональностью по аналогии с тем, как это происходит в реальном мозге. Это подтверждается существованием ряда иерархических моделей адаптивной обработки данных в человеческом мозге [5, 6, 7].

В этой работе предлагается архитектура спайковых нейронных сетей в качестве основы искусственного интеллекта, работающего по принципам, похожим на устройство мозга.

II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

В отличие от большинства существующих моделей обучения нейронных сетей наша модель предполагается самодостаточной – самообучаемой и самомодифицируемой (SLSM от английского self learning self modified). Это означает, что не существует каких-либо внешних алгоритмов обучения или мониторинга состояния нейронной сети. Все изменения в нейронной сети, касающиеся обучения или самостоятельного функционирования, должны быть определены самой нейронной сетью. Кроме того, обучение и собственно функционирование должны выполняться одновременно, и обучение должно протекать постепенно и непрерывно. Предполагается также, что нейронная сеть, моделирующая интеллект, должна быть такой же неоднородной как реальный мозг. Другими словами, модель интеллекта должна состоять из нескольких совместно работающих нейронных сетей, которые могут содержать нейроны различных типов в соответствии с их функциональными возможностями.

Таким образом, наша модель может быть охарактеризована набором следующих свойств:

1. Самодостаточность, т.е. отсутствие каких-либо внешних алгоритмов, не реализуемых самой моделью нейронной сети.
2. Обучение выполняется одновременно с функционированием.
3. Обучение является инкрементным, что обеспечивает возможность длительной автономной деятельности всей системы.
4. Базовое обучение выполняется с учителем, далее обучение под наблюдением допускается только путем усиления эффекта за счет получения «награды» от окружающей среды и закрепления результата самообучения.
5. Способность воспринимать различные сенсорные данные, подобные различным биологическим органам чувств.
6. Способность генерировать различные выходные сигналы, аналогичные биологическим сигналам, управляющим какой-либо деятельностью организма.
7. Самомодификация как результат восприятия реакции внешнего мира на выходные сигналы, вырабатываемые сетью в процессе функционирования.

Следует отметить, что понятие "самодостаточности" может быть использовано как для всей нейронной сети (глобальная самодостаточность), так и для одного нейрона или группы нейронов (местная самодостаточность). Это требование необходимо для аппаратной реализации нейронной сети в будущем для того, чтобы уменьшить объемы потоков данных между нейронами.

Обучение и самомодификацию нейронной сети в нашей модели следует понимать как процесс, состоящий в последовательном применении одного или нескольких элементарных изменений:

- веса синапса нейрона;
- создание нового соединения между двумя нейронами;
- создание нового нейрона и его связей с существующими нейронами.

Решения о том, выполнять ли изменение, и если да, то какое и в какой точке сети, принимается самой нейросетью либо в ответ на управляющее воздействие учителя, либо в связи с возникновением ее «эмоций».

III. ПРЕДЛАГАЕМАЯ МОДЕЛЬ

Предлагаемая модель интеллекта на основе нейронной сети состоит из:

- нескольких модулей (или подсистем) восприятия, соответствующих различным типам входных сигналов: визуальные, аудио, тактильные (могут быть и другие);
- нескольких обрабатывающих модулей, соответствующих различным видам деятельности: на основе звука или мимического диалога, манипуляций пальцами, руками или ногами и т.д.;
- управляющего модуля, выполняющего надзор за обучением, вниманием, подключением всех указанных выше модулей, основанным на использовании положительных и отрицательных эмоций [8].

Каждый из этих модулей состоит из нескольких слоев спайковых нейронов с обратными связями. Кроме того, иерархическая нейронная сеть в каждом модуле соединена горизонтальными связями со всеми другими модулями аналогично модели, предложенной в [9] для формирования запросов на естественном языке при поиске документов в базе данных. Эти соединения необходимы для создания и использования ассоциативных связей между шаблонами разного типа.

Распознавание некоторого образа по шаблону в любом модуле восприятия входных сигналов и модуле генерации некоторого поведения может быть представлено в виде двух пирамид из нейронов, имеющих общую вершину и соединенных иерархическими связями (Рис 1).

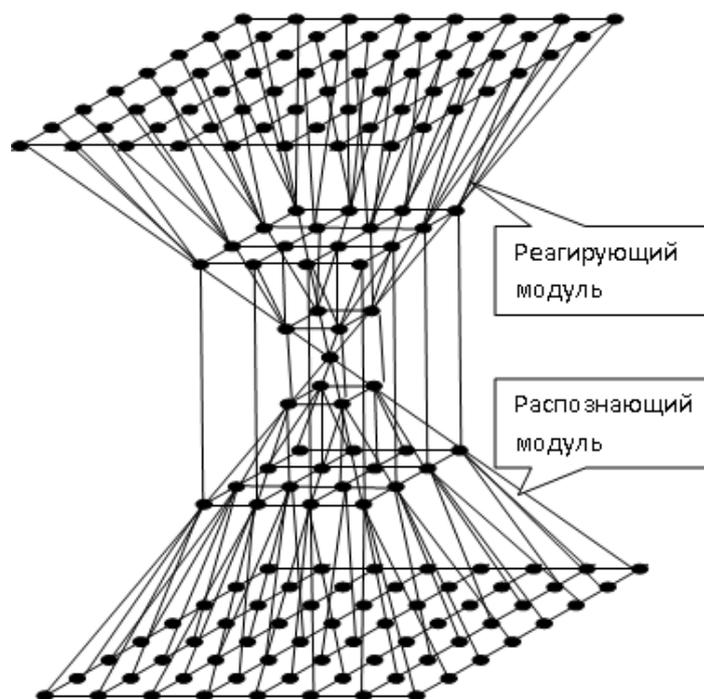


Рис. 1. Связи между распознающими и реагирующими модулями.

Работа модуля управления основана на обучении путем генерации основных эмоций при наблюдении за работой других модулей. Мы предполагаем, что эти эмоции очень близки с понятиями внимания и мотивации. Наиболее существенной причиной любой человеческой деятельности является стремление к получению положительных эмоций и избеганию негативных эмоций. Можно считать, что существуют только две базовые эмоции - положительные и отрицательные. Все остальные эмоции являются подвидами этих основных эмоций с некоторыми оттенками, как результат влияния состояния организма (системы) и особенностей их использования для взаимодействия с другими людьми.

Мы считаем, что влияние эмоций проявляется как при выборе цели, так и при определении путей ее достижения. Успешность процесса достижения цели является причиной формирования положительных эмоций, а возникновение каких-либо неожиданных препятствий к этому является причиной негативных эмоций. К тому же, базовые эмоции используются в качестве оценки окружающей среды и в результате взаимодействия между системой и окружающей средой (Рис. 2).



Рис. 2. Выработка базовых эмоций, восприятие и действия.

И эта же оценка может быть использована для обучения нейронных сетей с учителем в модулях нашей системы.

Выработка базовых эмоций (положительных или отрицательных) основана на признании "хороших" и "плохих" ситуаций, которые могут быть реализованы путем обучения нейронной сети. Мы предполагаем, что отрицательные эмоции являются стимулом для изменения поведения или поиска нового плана действий, в то время как положительные эмоции не столь важны для выполнения запланированного поведения. Положительные эмоции используются в качестве награды в любом виде обучения с подкреплением для хранения успешного поведения. Эмоции, выработанные таким путем, могут быть сохранены в базовой ассоциативной памяти нейронной сети точно так же, как шаблоны, описывающие изображения или ситуации. Впоследствии это свойство может быть использовано для планирования поведения, чтобы избежать неприятной ситуации или, наоборот, двигаться в сторону привлекательной ситуации.

Таким образом, самым высоким уровнем мотивации поведения и управления поведением является генерация базовых эмоций - отрицательных и положительных. Чтобы обучить модуль управления вырабатывать положительные и отрицательные эмоции, необходимо использовать первичные положительные и отрицательные награды (+/- стимулы на рисунке), например, путем нажатия одной из двух кнопок. Эти кнопки должны быть использованы только на первых шагах обучения. Дальнейшее обучение будет осуществляться на основе уже созданных шаблонов, связанных с обученными механизмами выработки эмоций.

Эмоции, вырабатываемые управляющим блоком сети, должны быть проградуированы. Каждой градации силы эмоции должно быть поставлено в соответствие одно из требуемых действий по самообучению/самомодификации сети:

- изменение какого-либо параметра одного нейрона;
- изменение аксон-дендритной связи одной пары нейронов;
- добавление одного нейрона;
- удаление одного нейрона.

Факт возникновения эмоции каждой градации мы ассоциируем с активацией (возбуждением) некоторого нейрона выходного слоя управляющего блока. Этот нейрон далее будем называть иницирующим. Для физической реализации действий по самообучению/самомодификации сети симулятору необходима дополнительная информация: координаты модифицируемого нейрона, идентификатор модифицируемого параметра, координаты пар нейронов в случае добавления или удаления связей.

Получить эту информацию можно различными способами. Мы предлагаем выстраивать в процессе первичного обучения сети для каждой градации силы каждой эмоции дополнительные пирамидальные структуры, так, как показано на Рис. 3. Основанием дополнительной пирамиды являются все нейроны промежуточных слоев модуля, осуществляющего распознавание входных воздействий и формирование реакции сети (Рис. 1). Нейроны, находящиеся на вершине распознающей пирамиды, срабатывание которых понимается как возникновение данной эмоции, являются иницирующими по отношению к процессу изменения сети. Для простоты здесь показано только по одной градации + и - данной эмоции. Нижний слой этой пирамиды, к которым на рисунке ведут пунктирные связи - это все те нейроны, которые могут быть модифицированы при возникновении эмоции, сопоставленной с данным иницирующим нейроном. Будем называть их управляемыми нейронами.

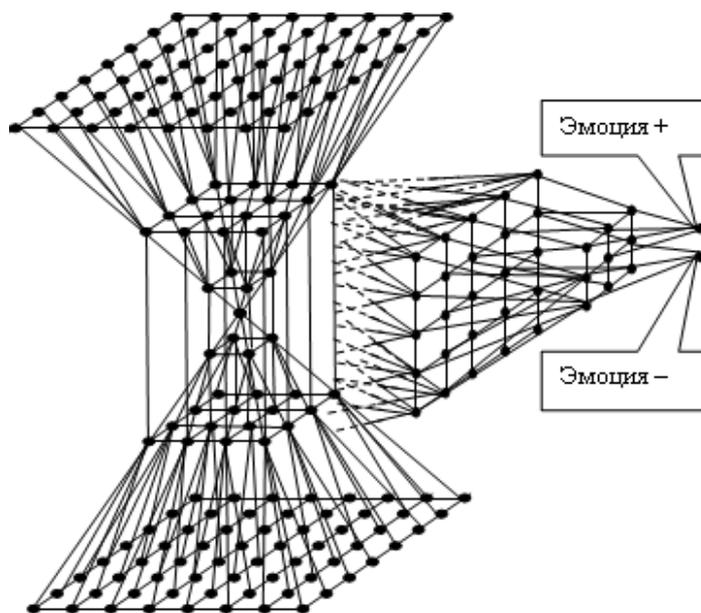


Рис. 3. Дополнительная эмоциональная пирамида.

Состояния нейронов промежуточного слоя (или нескольких промежуточных слоев) дополнительной пирамиды зависят от выходов управляемых нейронов. В симуляторе сети может быть реализован простой алгоритм интерпретации набора состояний нейронов промежуточного слоя дополнительной пирамиды как координат точки применения воздействия, модифицирующего сеть. Операции модификации выполняются только в те моменты времени, когда возбуждаются иницирующие нейроны.

Формирование начального состояния дополнительной пирамиды для каждой эмоции осуществляется на этапе предварительного обучения сети путем анализа активности нейронов управляющего блока в моменты поступления +/- стимулов от учителя. Во время функционирования сети возникновение положительных эмоций может использоваться для усиления тех связей (увеличения их весов, добавления новых связей в соответствующие циклические структуры, добавление в них новых нейронов), которые использовались в выработке этой эмоции. Возникновение же отрицательных эмоций может наоборот, приводить к ослаблению или удалению связей или целых путей, включающих нейроны, в некоторых фрагментах сети.

IV. ВЫВОДЫ

Предлагается подход к созданию модели спайковых мульти-нейронных сетей на основе идей искусственного интеллекта. Эта модель ориентирована на био-прототип и предполагает в будущем аппаратную реализацию. Предполагается, что использование нескольких подсетей восприятия/выработки реакции и предложенного механизма самообучения/самомодификации на основе эмоций позволит приблизить функционирование модели к работе реального мозга. Сейчас эта модель реализована в виде программного обеспечения с использованием графических процессоров, проводятся эксперименты с ее настройкой и обучением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] S. Wermter, R. Sun. Hybrid Neural Systems, Springer, 2000.

- [2] A.V.Gavrilov, "Hybrid Intelligent Systems in Ubiquitous Computing," chapter in book "Designing Solutions-Based Ubiquitous and Pervasive Computing: News Issues and Trends" (Eds. F. Milton, P. Fernandes), IDEA Publishing Inc., pp. 263-281, 2009.
- [3] Yoshua Bengio, "Learning deep architectures for AI," Tech. Rep. 1312, University of Montreal, 2009, pp. 1-127.
- [4] L.S.Smith, "Neuromorphic systems: past, present and future," Advances of Experimental Medicine and Biology, vol. 657, Springer, 2010, 167-182.
- [5] Jeff Hawkins, Sandre Blakeslee. On Intelligence (1st ed.). Times Books, 2004, p. 272.
- [6] Janusz A. Starzyk, Zhen Zhu, and Yue Li, Associative Learning in Hierarchical Self-Organizing Learning Arrays, IEEE Transactions on Neural Networks, VOL. 17, NO. 6, November 2006, pp. 1460-1470.
- [7] P.K.Anokhin. Biology and neurophysiology of the condition reflex and its role in adaptive behavior. Oxford, Pergamon Press, 1974.
- [8] Andrey V.Gavrilov. Emotions and a priori Knowledge Representation in Artificial General Intelligence. In Proc. of Int. Conf. on Intelligent Information and Engineering Systems INFOS-2008. Varna, Bulgaria, June 23-July 03, 2008; in book: "Intelligent Technologies and Applications" of Int. Book Series "Information Science and Computing", ITHEA, Bulgaria. - Pp. 106-110.
- [9] Gavrilov A.V. A combination of Neural and Semantic Networks in Natural Language Processing. - // Proc. of the 7th Korea-Russia Int. Symp. KORUS-2003, Ulsan, 2003. – Vol. 2, Pp. 143-147.



Александр А. Малявко закончил Новосибирской электротехнический институт по специальности «электронные вычислительные машины». В настоящее время он работает в должности доцента в Новосибирском государственном техническом университете и имеет более 35 лет опыта преподавания для студентов и магистрантов, имеет более 50 публикаций. В сферу его интересов входят нейронные сети, искусственный интеллект, языки программирования и компиляторы, параллельные вычисления.



Андрей В. Гаврилов закончил Новосибирской электротехнический институт по специальности «автоматизированные системы управления». В настоящее время он работает в должности доцента в Новосибирском государственном техническом университете и имеет более 35 лет опыта преподавания для студентов и аспирантов, является членом Программного комитета нескольких международных конференций, редактором CEJCS, имеет более 140 публикаций. В сферу его интересов входят гибридные интеллектуальные системы, нейронные сети, обработка естественного языка, искусственный интеллект, когнитивная робототехника.