

Сведения о выполненных работах  
в период с 27.07.2021 г. по 30.06.2022 г.

по проекту **«Исследование и разработка бинарных нейронных сетей для классификации и распознавания изображений»**,  
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 21-71-00012

Руководитель: Шашев Дмитрий Вадимович, канд. техн. наук

В отчетном периоде был выполнен ряд работ, посвященных реализации аппаратного алгоритма бинарной нейронной сети (БНС) под специализированную архитектуру перестраиваемой вычислительной среды (ПВС). В рамках работ был изучен математический аппарат сверточных нейронных сетей, рассмотрены положительные и отрицательные стороны их частного случая в виде БНС, когда используется экстремальное квантование входных данных и весовых переменных до 1-битного представления. В качестве базовой была выбрана архитектура нейронной сети LeNet-5, обучение которой производилось на известном наборе данных MNIST, содержащем размеченные изображения рукописных символов. Далее выполнялись шаги по модификации математического аппарата БНС под возможность аппаратного выполнения и построения модели ПВС.

Выполненные работы включают:

- разработку метода модификации БНС для классификации и распознавания изображений с целью получения новых модификаций под концепцию ПВС, который представляет собой последовательность шагов, выполнение которых сохраняет уникальные свойства ПВС, заключающиеся в однородности и перестраиваемости. Данные свойства выполняются при условии создания базового вычислительного элемента (ВЭ), выполняющего достаточный функционал для работы сети при прямом распространении, при этом ВЭ должен обладать настроечным входом для перестраиваемости на выполнение заданных функций. Регулярная решетка из таких ВЭ образует в конечном итоге ПВС. При реализации БНС рассматриваются модели ПВС в трехмерном пространстве;

- разработку математических моделей модификации БНС для классификации и распознавания с использованием математического аппарата булевой алгебры, при этом реализации подлежали отдельные математические операции, образующие эквивалентную свертку, а также отвечающие за процесс перестраиваемости ВЭ в ПВС;

- разработку математических моделей вычислительных сред, реализующих новые БНС для классификации и распознавания, а также комбинационных и последовательностных схем работы этих сред, в том числе построение моделей перестраиваемых автоматов. При этом была получена модель ВЭ и представлена в виде перестраиваемого автомата с описанием автоматных отображений. Каждое автоматное отображение имеет свой настроечный код;

- разработку имитационных моделей вычислительных сред, реализующих новые БНС для классификации и распознавания. При этом имитационные модели были реализованы в среде MATLAB. Тестирование этих моделей проводилось с помощью сравнения работоспособности с оригинальной реализацией с помощью встроенных функций MATLAB.

Таким образом, получены следующие научные результаты:

- метод модификации БНС под концепцию ПВС;

- частичная реализация математического аппарата БНС с помощью логических функций. В частности была модернизирована функция “sign” и представлен подход ее выполнения с помощью логических операций, также модернизирована операция свертка с помощью логической функций XNOR, при этом дополнительное введение функции XOR позволило избавиться от операции «умножение». С помощью автоматнo-структурного метода в модель ВЭ встроена функция перестраиваемости на выполнение определенных функций, которая осуществляется путем подачи двоичного настроечного кода;

- построена имитационная модель ПВС в среде MATLAB, реализующая алгоритм БНС, представляющая собой регулярную решетку, в узлах которой расположены одинаковые ВЭ. Тестирование модели показало корректность работы по отношению к оригинальной реализации БНС с архитектурой сети LeNet-5. При этом точность распознавания отличается на 5-6 % в связи с дополнительными преобразованиями входных данных и весовых переменных каждого слоя нейронной сети, а также в связи с табличным представлением функции активации, при этом предложен способ кусочно-линейной аппроксимации функции активации в структуре ПВС, проработка которого будет дополнительно осуществлена на следующем этапе проекта.