

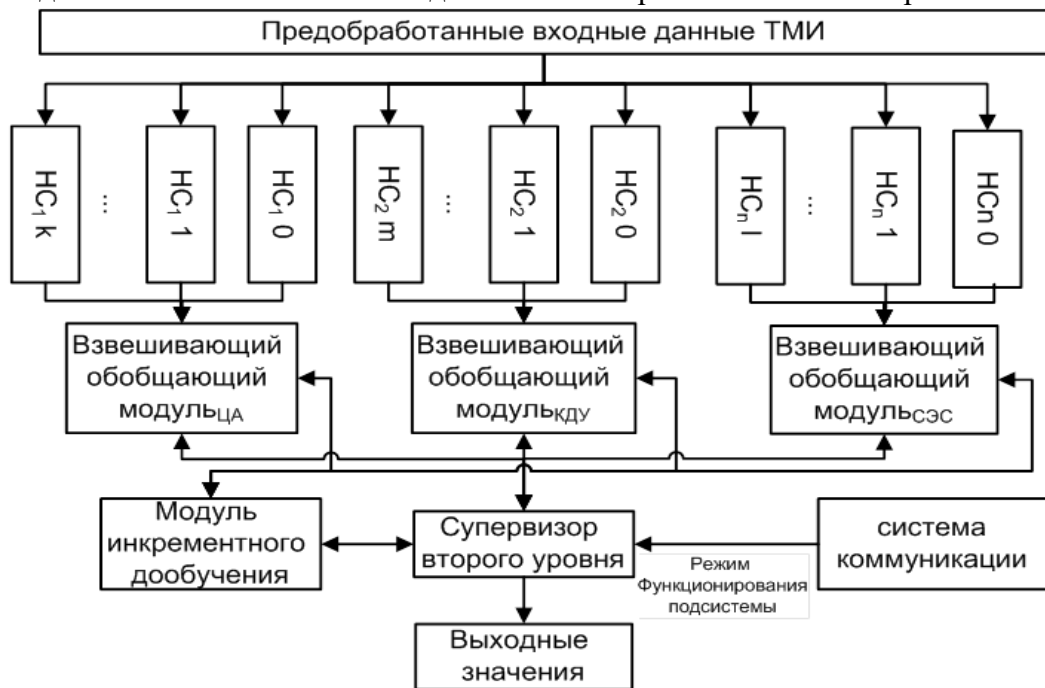
**2015-2017, проект БРФФИ Ф15М-059 «Иерархические нейросетевые алгоритмы обработки телеметрической информации подсистем космических аппаратов» (н. рук. Ганченко В.В., отв. исп. Марушко Е.Е.)**

Цель работы состоит в повышении точности идентификации и прогнозирования состояний подсистем космических аппаратов на основе оригинальных нейросетевых моделей и исследование возможности их эффективного использования в наземных командно-измерительных комплексах управления полетами космических аппаратов.

Проведен анализ методов на основе нейронных сетей для мониторинга состояний подсистем космических аппаратов по телеметрической информации.

Разработан алгоритм формирования обучающих выборок с целью повышения точности анализа за счет снижения избыточности обрабатываемых данных. Алгоритм включает: удаление временных рядов, принимающих константные значения на всем протяжении; удаление выбросов; обработку отсутствующих значений; выполнение шкалирования данных; построение автоассоциативной нейронной сети, предназначенной для нелинейного уменьшения размерности входных данных; разделение обработанного набора данных на обучающую, тестовую и валидационную выборки.

Разработана иерархическая нейросетевая модель идентификации состояний бортовых подсистем на базе ансамблей однотипных нейронных сетей с инкрементным обучением.



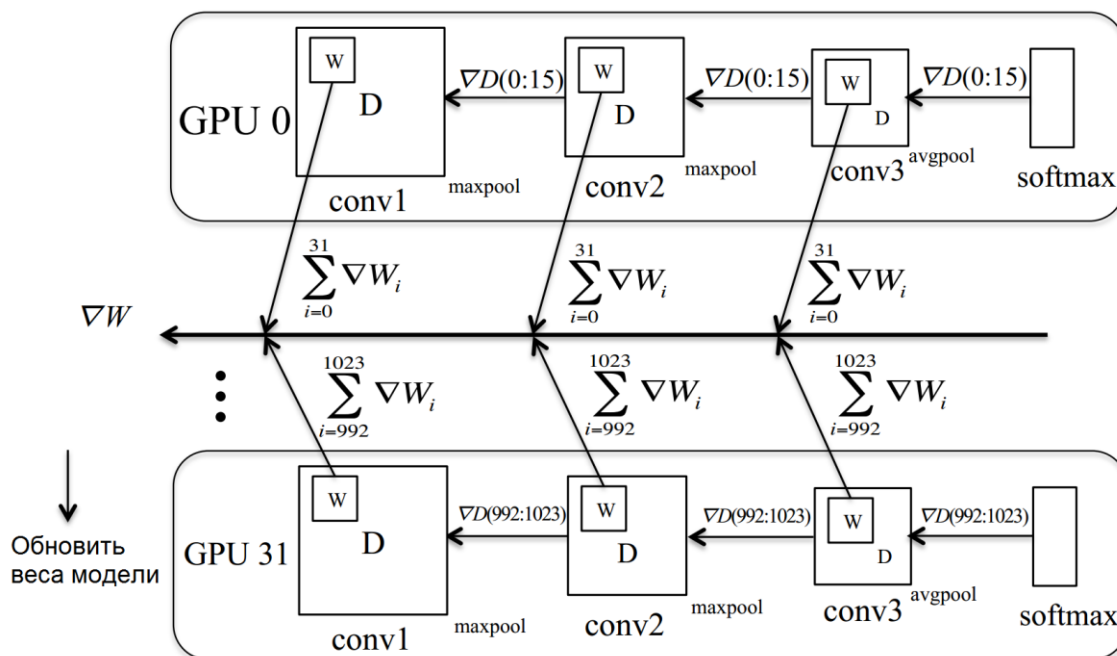
Рассмотрены методы оптимизации обучения иерархии нейронных сетей и выявлена перспективность следующих подходов к увеличению скорости обучения иерархии нейронных сетей: применение алгоритма стохастического градиентного спуска с обучением на мини-выборках; использование графического процессора для матричных операций; распределение обучения одиночной нейронной сети для аппаратных архитектур

с несколькими вычислительными узлами (ВУ) (рисунок); параллельное обучение нейронных сетей ансамбля на отдельных вычислительных узлах. Проведена оценка времени обучений нейронных сетей на различных вычислительных архитектурах. В качестве аппаратных средств использованы: ЦП Intel i5 4200H, два процессорных ядра, четыре потока выполнения, частота 2800 МГц, Turbo-частота 3 400 МГц; NVIDIA GeForce GTX 860M, частота 1029 МГц, 640 ядер CUDA. В среднем наблюдается пятикратное уменьшение времени обучения одной нейронной сети при использовании графического процессора с поддержкой технологии CUDA. Таким образом, применение ГП для ускорения обучения нейронных сетей позволяет значительно ускорить процедуру.

В качестве развития результатов определены следующие направления: применение глубоких нейронных сетей в качестве базовых элементов ансамбля нейронных сетей, формирование ансамбля в виде смеси экспертов, расширение предложенной нейросетевой модели на другие подсистемы космического аппарата.

Прикладной аспект: Разрабатываемые алгоритмы составляют ядро системы мониторинга состояния и поведения подсистем космических аппаратов по телеметрическим данным в научно-исследовательской работе «Разработать экспериментальный образец нейросетевой системы мониторинга состояния и поведения подсистем космических аппаратов по телеметрическим данным для наземного командно-измерительного комплекса» (Мероприятие 1.2.5. НТП Союзаного государства «Разработка космических и наземных средств обеспечения потребителей России и Беларуси информацией дистанционного зондирования Земли») («Мониторинг-СГ»).

Потребителем результатов данных исследований выступает центр управления полетами белорусского космического аппарата унитарного предприятия «Геоинформационные системы».



$\nabla D$  – градиент ошибки для мини-выборки;  $\nabla W_i$  – градиент для пересчета весов НС полученный на  $i$ -том GPU; conv1, conv2, conv3 – сверточные слои НС; softmax – выходной слой; maxpool и avgpool - операция субдискретизации, выполняет уменьшение размерности сформированных карт признаков

Рисунок – Организация распределения процедуры обучения НС по данным для сверточной НС

.Публикации:

Ганченко, В.В. Нейросетевая модель для идентификации состояний целевой аппаратуры космических аппаратов» / В.В. Ганченко [и др] (В.В. Ганченко, А.А. Дудкин, Е.Е. Марушко, С.Н. Чарин) // Тезисы докл. 3-й международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли», Москва, 24 мая 2016 г. – М. : ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2016. – С. 77-79.

Дудкин, А. А. Суперкомпьютерное моделирование нейронных сетей для идентификации состояния подсистем космических аппаратов / А.А. Дудкин [и др] (А.А. Дудкин, Е.Е. Марушко, С.Н. Чарин, С.А. Золотой) // Тезисы докладов Национального Суперкомпьютерного Форума (НСКФ-2016), Россия, Переславль-Залесский, 29 ноября – 02 декабря 2016 г.